ИНСТИТУТИ ФИЗИКАЮ ТЕХНИКАИ БА НОМИ С.У. УМАРОВИ
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

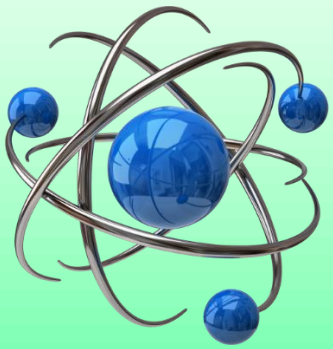
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.У. УМАРОВА
Национальной академии наук Таджикистана

S.U. UMAROV PHYSICAL–TECHNICAL INSTITUTE
of the National Academy of Sciences of Tajikistan

МАВОДҲОИ
СИМПОЗИУМИ ФИЗИКОНИ ТОҶИКИСТОН
бахшида ба 85-солагии академик Р. Марупов

МАТЕРИАЛЫ
СИМПОЗИУМА ФИЗИКОВ ТАДЖИКИСТАНА
посвященного 85-летию академика Р. Марупова

PROCEEDINGS
OF THE SYMPOSIUM OF PHYSICISTS OF TAJIKISTAN
Dedicated to the 85th Anniversary of Academician R. Marupov



ДУШАНБЕ – 2021

УДК 538.9, 524.1, 539.1-539.6, 54-72

Маводҳои Симпозиуми физикони Тоҷикистон, бахшида ба 85-солагии академик Р.Марупов. Душанбе: нашриёти «Дониш», 2022, 201 с.
Материалы Симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. Душанбе: изд-во «Дониш», 2022, 201 с.
Proceedings of the Symposium of Physicists of Tajikistan, Dedicated to the 85th Anniversary of Academician R. Marupov. Dushanbe: publishing house «Donish», 2022, 201 p.

Дар маҷмӯа маводҳое оварда шудаанд, ки аз ҷониби кумитаи тадорукоти илмии Симпозиуми физикони Тоҷикистон қабул шудаанд. Мӯҳтавои маърӯзаҳо доираи васеи муаммоҳои ҷадиди физикаи назариявӣ ва таҷрибавиро дар бар мегиранд. Маҷмӯаи мақолаҳои илмӣ барои кормандони илмӣ, докторантон, магистрантон ва донишҷӯёни ихтисосҳои соҳаи физикаю техника ва ҳамчунин ба доираи васеи хонандагоне, ки бо ҷараёни рушди илми физика шинос шудан мехоҳанд, пешбинӣ шудааст.

В сборник включены материалы, принятые научным оргкомитетом для участия в Симпозиуме физиков Таджикистана. Тематика докладов охватывает широкий спектр актуальных проблем теоретической и экспериментальной физики. Сборник научных трудов рассчитан на научных работников, докторантов, магистрантов и студентов старших курсов, специализирующихся в физико-технической области, а также на широкий круг читателей, интересующихся развитием физической науки.

The collection includes materials accepted by the scientific organizing committee for participation in the Symposium of Physicists of Tajikistan. The topics of the reports cover a wide range of topical problems in theoretical and experimental physics. The collection of scientific papers is intended for scientific workers, doctoral students, postgraduates, undergraduates and students specializing in the physical and technical field, as well as for a wide range of readers interested in the development of physical science.

Бо қарори Шӯрои олимони Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон нашр мешавад (пр. №9 аз 03.12.2021 г.)
Печатается по решению Ученого совета Физико-технического института им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (пр. №9 от 03.12.2021 г.).
Published by the decision of the Academic Council of the S.U. Umarov Physical–Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan (pr. No. 9 of December 03, 2021).

Муҳаррирони масъул – Т.Ҳ. Салихов, Ф. Шокир
Ответственные редакторы – Т.Х. Салихов, Ф. Шокир
Editors-in-chief – T.Kh. Salikhov, F. Shokir

© ИФТ ба номи С.У. Умарови АМИТ, 2021
© ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ, 2021
© S.U. Umarov PhTI of the NAST, 2021

АВВАЛИН
СИМПОЗИУМИ ФИЗИКОНИ ТОҶИКИСТОН
ДАР ТАЪРИХИ СОҲИБИСТИҚЛОЛИИ КИШВАР

Дастовардҳои муосири чаҳони имрӯза далели он мебошанд, ки рушди илмҳои дақиқ яке аз воситаҳои нодиру бебаҳо барои баланд баровардани сатҳи иқтисод, саноат ва нуфузи кишварҳо дар миқёси байналмилалӣ буда, дастгирӣ ва тарғиби ҳамаҷонибаи самти мазкур яке аз нишондиҳандаҳои сатҳи баланди фаъолияти созанда баҳри ободии инсоният мебошад. Вобаста ба ин, таҳти роҳбарӣ ва сиёсати маорифпарваронаи сарвари кишвар як қатор иқдомҳои бениҳоят муҳим дар ин самт амалӣ шуда истодаанд, аз ҷумла эълон шудани солҳои 2020-2040 ҳамчун «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», таъсиси муассисаи давлатии телевизиони «Илм ва табиат», пешниҳод ва баргузор намудани аввалин Озмуни ҷумҳуриявии «Илм – фурӯғи маърифат» мисоли иқдомҳои созанда мебошанд, ки аз онҳо на танҳо аҳли илм, балки кулли мардуми олими тоҷик бениҳоят қаноатманд мебошанд.

Аз ин лиҳоз, бо мақсади боз ҳам бештар мусоидат намудан ба равандҳои созандаи ҳукумати кишвар, санаҳои 25-26 ноябри соли 2021 бо ташаббуси Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон аввалин Симпозиуми физикони Тоҷикистон баргузор гардид. Мақсади меҳварии баргузории чорабинии мазкур – эҳёи Ҷамъияти физикаи Тоҷикистон мебошад. Зеро таҷрибаи кишварҳои ҷаҳон бевосита нишон медиҳад, ки кашфиёту коркардҳои назариявӣ, ҳалли масъалаҳои бунёдӣ ва татбиқи лоиҳаҳои миқёсии илмӣ эҳтимолан на аз ҷониби олимони алоҳида, балки аз ҷониби гурӯҳҳои илмии касбӣ – оғоз аз мактабҳо ва лабораторияҳои илмӣ то шабакаи васеи ҳамоҳангшудаи олимон ва мутахассисон ба даст оварда мешавад.

Таҳлили муаммоҳои рушди илми физика дар миқёси ҷаҳонӣ нишон медиҳад, ки яке аз роҳҳои самараноки ташкили ҳамкории қавии олимон ва мутахассисони соҳа дар ҳудуди кишварҳо фаъолияти ҳамҷоя ва ҳамоҳанги илмӣ мебошад, ки дар шакли ҷамъиятҳои физикӣ амал менамоянд ва дар таҳқиқоти илмӣ имкониятҳои навро дар аксарияти кишварҳо ва ҳатто иттиҳоди давлатҳо ба вуҷуд оварда, бомуваффақият фаъолият бурда истодаанд.

Ҳамин тавр, дар нахустин Симпозиуми физикони Тоҷикистон олимон-физикони кишвар аз муассисаҳои илмӣ-таҳқиқотӣ ва донишгоҳҳо иштирок ва бо маърӯзаҳои илмӣ баромад намуда, дар бахши илмӣ-ташкилии Симпозиум ташаббуси Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистонро вобаста ба эҳёи фаъолияти Ҷамъияти физикаи Тоҷикистон якдилона дастгирӣ намуданд. Бояд қайд намоем, ки дар чорабинии мазкур физикон аз донишгоҳҳои Ҷумҳурии Ӯзбекистон бевосита ташриф оварда, физикони тоҷик аз донишгоҳҳои Федератсияи Россия тариқи маҷозӣ низ иштирок ва баромад намуданд.

Дар интиҳои чорабинӣ бо мақсади изҳори якдилии иштирокчиён-физикони Симпозиум нисбати иқдомҳои созандаи ҳукумати кишвар баҳри рушди илмҳои дақиқ ва муаррифӣ намудани мавқеи созандаи намояндагони соҳаи физикаи кишвар ба ҷаҳониён – *Эъломияи симпозиум* қабул гардид.

Бо эҳтиром ва умеди ҳамкориҳои оянда:
Ф.Шокир – директори ИФТ ба номи С.У.Умарови АМИТ

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

ЭЪЛОМИЯИ

Симпозиуми физикони Тоҷикистон

аз 25-26 ноябри соли 2021

Санаҳои 25-26 ноябри соли 2021 дар Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон Симпозиуми физикони Тоҷикистон, бахшида ба 85-солагии академик Р. Марупов баргузор гардид. Дар чорабинии мазкур олимон - физикони кишвар аз муассисаҳои илмӣ-таҳқиқотӣ ва донишгоҳҳо иштирок ва бо маърӯзаҳои илмӣ баромад намуданд. Ҳамчунин ба чорабинии мазкур физикон аз донишгоҳҳои Ҷумҳурии Ӯзбекистон бевосита ташриф оварда, физикони тоҷик аз донишгоҳҳои Федератсияи Россия тариқи маҷозӣ иштирок ва баромад намуданд.

Дар симпозиум масъалаҳои мубрами физикаи муосир аз ҷумла дар самтҳои физикаи назариявӣ, системаҳои динамикӣ, муҳитҳои конденсӣ, нанотехнологияҳо ва маводҳои нав, масъалаҳои энергетикаи таҷдидпазир ва ғайрианъанавӣ, нурҳои кайҳонӣ, физикаи ядроӣ ва технологияҳо, физикаи атмосфера, тағйирёбии иқлим ва масъалаҳои об, физикаи тиббӣ ва биологӣ, ҳамчунин масъалаҳои рушди илмҳои физикӣ ва техникии кишвар дар даврони соҳибистиқлолӣ, нақши илми физика дар ҷомеаи муосир, нақши ҷамъиятҳои илмӣ дар ҷаҳони имрӯза баррасӣ гардиданд.

Таҷрибаи даҳсолаҳои охир бевосита нишон медиҳад, ки илми муосир, дар муқоиса бо илми асрҳои гузашта, бештар хусусияти иҷтимоӣ ва коллективӣ пайдо намудааст. Кашфиёту коркардҳои назариявӣ, ҳалли масъалаҳои бунёдӣ ва татбиқи лоиҳаҳои миқёсии илмӣ эҳтимолан на аз ҷониби олимони алоҳида, балки аз ҷониби гурӯҳҳои илмии касбӣ – оғоз аз мактабҳо ва лабораторияҳои илмӣ то шабакаи васеи ҳамоҳангшудаи олимон ва мутахассисон ба даст оварда мешавад. Ин амалия дар тамоми мактабҳои илмии ҷаҳон ҳамчунин тавассути ҳамкории байналмилалии ҳам олимони алоҳида ва ҳам ҷомеаҳои илмӣ, лоиҳаҳои муштараки таҳқиқотӣ, чорабиниҳои илмӣ – конференсияҳои байналмилалӣ, симпозиумҳо, нишастҳои техникӣ, мактабҳо ва ғайра рушд ёфтааст. Ҳамзамон, яке аз роҳҳои самараноки ташкили ҳамкории қавии олимон ва мутахассисони соҳаи илми мушаххас дар ҳудуди кишварҳо фаъолияти ҷомеаҳои илмӣ мебошад, аз ҷумла – ҷамъиятҳои физикӣ.

Қайд мекунем, ки соли 1989 Ҷамъияти физикаи ИҶШС низ таъсис дода шуда буд ва нусхаи оинномаи он то ҳоло дар Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон маҳфуз аст. Баъдтар, соли 1990 дар заминаи ИФТ ба номи С.У.Умарови АМИТ оинномаи Ҷамъияти физикаи Тоҷикистон низ тасдиқ карда шуд ва ҷамъияти мазкур ба кор шурӯъ намуд. Аммо, бинобар оқибатҳои суқути ИҶШС дар соли 1991 ва давраи мураккаби солҳои 90-уми асри гузашта, Ҷамъияти физикаи Тоҷикистон фаъолияти расмии худро муваққатан қатъ кард.

Имрӯз, ба шарофати талошҳо ва стратегияҳои муваффақонаи сиёсии сарвари кишвар, мо дар шароити сулҳу осоишта ва оромӣ зиндагӣ дорем, ки заминаи ивазнашавандаи на танҳо ҷомеаи шаҳрвандии ҳамаҷониба рушдёфта, балки таҳқиқоти илмӣ ва ҳалҳои нави технологии инноватсионии бунёдӣ мебошад.

Қайд мекунем, ки дар замони муосир ҷамъиятҳои физикаи аксарияти кишварҳо ва иттиҳодҳои ҷаҳон дар самти рушди таҳқиқоти илмӣ ва корҳои ташкили илм бомуваффақият фаъолият бурда истодааанд. Аз ҷумла ҷамъиятҳои физикӣ дар баргузории

мактабҳо ва конференсияҳои васеи байналмилалии илмӣ саҳми назаррас доранд, ки дар онҳо махсусан муҳокимаи бевоситаи масъалаҳои илмӣ бо намояндагони мактабҳо ва ширкатҳои бузурги саноатӣ барои рушди илми кишварҳо аҳамияти назарраси амалӣ дорад. Илова ба ин, дар чорабиниҳои ҷамъиятҳои физикӣ олимон ва мутахассисон, ки аксарият намояндагони мактабҳои бонуфузи илмии байналмилалӣ ва ширкатҳои бузурги технологӣ мебошанд, имкон пайдо мекунанд потенсиали ҳамкориро бо олимони варзида ва мутахассисони ҷавон амиқ ва воқеъбинона арзёбӣ намоянд. Яъне, баргузории чунин чорабиниҳои амалии илмӣ барои бунёди лоиҳаҳои муштараки илмӣ-техникӣ ва ҷалби технологияҳои нави инноватсионӣ ба илм, истеҳсолот ва саноати кишвар мусоидат намуда, аз ҷумла саҳми физикони кишварро дар амалисозии «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» дар солҳои 2020-2040, рушди тафаккури техникӣ ва тавсеаи ҷаҳонбинии илмии ҷомеа боз ҳам бештар менамояд ва бешубҳа самараи мусбӣ хоҳад овард.

Бинобар он, бо дарназардошти далелҳои қайдшуда аҳли иштирокчиёни Симпозиуми физикони Тоҷикистон тарафдор ва тасдиқ менамоянд, ки:

- *фаъолияти Ҷамъияти физикаи Тоҷикистон дар заминаи Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон барқарор карда шавад;*
- *эҳёи фаъолияти Ҷамъияти физикаи Тоҷикистон, бо истифода аз потенсиали умумӣ, дар ҳамкорӣ, аз ҷумла бо ҷамъиятҳои физикаи кишварҳои ҷаҳон барои баланд бароварданисатҳи рақобатпазирии илми ватанӣ, алалхусус дар пасманзари динамикаи замони муосир зарур ва саривақтӣ мебошад;*
- *рушди ҳамкории илмӣ бо ҷамъиятҳои физикаи кишварҳои ҷаҳон барои боз ҳам мукаммал шудани алоқаҳои илмӣ ва ба роҳ мондани таҳқиқоти ҳамҷоя бо марказҳои илмӣ-техникии байналмилалӣ мусоидат намуда, барои рушди илми физикаи кишвар имконият ва шароитҳои назаррас ба вуҷуд меорад;*
- *рушд ва дастгирии илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ, аз ҷумла самти физика, бо роҳи муттаҳид ва ҳамоҳанг намудани таҳқиқоти физикони кишвар бо марказҳои физикии ҷаҳонӣ, на танҳо барои баланд бароварданисатҳи дониш ва таҳқиқоти физикӣ, балки бевосита дар рушди саноат, ки нишондиҳандаи асосии нуфузи ҳар як кишвар аст ва расидан ба ҳадафи чоруми миллии стратегӣ – саноатикунонии босуръати кишвар мусоидат менамояд;*
- *бояд ёдрас намоем, ки аксарияти дастовардҳои инсоният дар бистсолаи якуми асри XXI қабл аз ҳама натиҷаи таҳқиқоти илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ, риёзӣ ва аз ҷумла илми физика мебошанд, ки охирин дар ҷаҳони муосир мақоми муҳим дорад. Бинобар он, аз ҷомеаи ҷаҳонӣ даъват карда мешавад, ки баҳри пойдории ободӣ ва фаъолияти бунёдиву созанда ҳар қадар бештару беҳтар барои рушди соҳаҳои мазкур мусоидат намоянд.*

Иштирокчиёни
Симпозиуми физикони Тоҷикистон,
ИФТ ба номи С.У.Умарови АМИТ,
25-26 ноябри соли 2021

ПЕРВЫЙ
СИМПОЗИУМА ФИЗИКОВ ТАДЖИКИСТАНА
В ИСТОРИИ НЕЗАВИСИМОСТИ СТРАНЫ

Современные технологические достижения человечества доказывают, что поддержка и развитие точных наук является одним из самых эффективных путей повышения уровня развития экономики, промышленности, социальной сферы и в общем статуса стран на международной арене. В связи с этим инициативой и под созидательным руководством Главы государства предпринимаются ряд очень важных решений в этом направлении, в том числе провозглашение 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования», создание государственного учреждения телевидение «Наука и природа», организация и проведение первого республиканского конкурса «Наука – светоч просвещения» (Илм – фуруги маърифат), которые октрыли новую страницу в развитии таджикской науки и были тепло приветствованы не только представителями научной общественности страны, но и всеми просвещенными гражданами Республики Таджикистан.

В связи с этим, в целях дальнейшего продвижения созидательных инициатив Главы государства, 25-26 ноября 2021 года в Физико-техническом институте им. С.У. Умарова НАНТ состоялся первый Симпозиум физиков Таджикистана. Основной целью данного мероприятия является – возрождение Таджикского физического общества, который был учрежден в данном институте в 1990 году, но не продолжил свою деятельность из-за проблем, связанных с распадом СССР.

Анализ опыта других стран в данном направлении показывает, что научные разработки и открытия, решение фундаментальных проблем и реализация масштабных научных проектов, преимущественно осуществляются не отдельными учеными, а профессиональными исследовательскими коллективами – от школ и лабораторий до научных кругов, путем создания широкой слаженной сети ученых и специалистов.

Также анализ проблем развития физической науки в международном масштабе показывает, что одним из наиболее эффективных способов для налаживания тесного сотрудничества между учеными и специалистами данной области является совместная и скоординированная научная деятельность в форме физических обществ, которые показали свою эффективность не только в отдельных странах но и в международной арене.

Таким образом, на первом Симпозиуме физиков Таджикистана участвовали ученые-физики страны, представители научно-исследовательских институтов и университетов, которые выступили с научными докладами, а также единогласно поддержали возрождение Таджикского физического общества в научно-организационной секции Симпозиума. Отметим также, что в мероприятии приняли участие в том числе учёные-физики из вузов Республики Узбекистан, а также таджикские учёные-физики из научно-исследовательских институтов физического профиля Российской Федерации, которые выступили в формате видеоконференцсвязи.

В конце мероприятия с целью выражения единой солидарности участников-физиков Симпозиума с созидательными инициативами Главы государства и Правительства страны по развитию точных наук и представлению позиции физиков страны мировому обществу была принята *Декларация симпозиума*.

С наилучшими пожеланиями
и надеждой на дальнейшее сотрудничество:
Ф.Шокир – директор ФТИ им. С.У.Умарова НАНТ

Физико-технический институт им. С.У.Умарова
Национальной академии наук Таджикистана

ДЕКЛАРАЦИЯ
Симпозиума физиков Таджикистана
от 25-26 ноября 2021 года

25-26 ноября 2021 года в Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана был проведен первый Симпозиум физиков Таджикистана, посвященный 85-летию академика Р. Марупова. В мероприятии приняли участие ученые-физики страны из научно-исследовательских институтов и университетов, выступившие с научными докладами. В мероприятии также приняли участие физики из вузов Республики Узбекистан, а также таджикские физики из вузов Российской Федерации, которые приняли участие и выступили в формате видеоконференцсвязи.

В симпозиуме были обсуждены актуальные вопросы и направления современной физики, включая теоретическую физику, динамические системы, конденсированные среды, нанотехнологии и новые материалы, возобновляемые и нетрадиционные источники энергии, космические лучи, ядерную физику и технологии, физику атмосферы, изменение климата. Также обсуждались вопросы развития физических и технических наук страны с момента обретения независимости, роль физики в современном обществе, роль научных обществ в современном мире.

Опыт последних десятилетий показывает, что современная наука приобрела более социальный и коллективный характер, относительно предыдущих веков. Теоретические разработки и открытия, решение фундаментальных проблем и реализация масштабных научных проектов, преимущественно, достигаются не отдельными учеными, а профессиональными научными группами – от научных школ и исследовательских лабораторий до широкой скоординированной сети ученых и специалистов. Эта практика была развита во всех научных школах мира посредством международного сотрудничества как отдельных ученых, так и научных сообществ, совместных исследовательских проектов, научных мероприятий – международных конференций, симпозиумов, технических встреч, семинаров и т.д. В то же время одним из наиболее эффективных способов для налаживания тесного сотрудничества между учеными и специалистами в конкретных областях стран мира является деятельность научных обществ, в том числе физических. Следует отметить, что в 1989 году было создано Физическое общество СССР, копия устава которого до настоящего времени хранится в Физико-техническом институте имени С.У. Умарова НАНТ. Позже, в 1990 году, на базе данного института был утвержден устав Таджикского физического общества и это общество начало свою деятельность. Однако из-за последствий распада СССР в 1991 году и тяжелого периода 1990-х Таджикское физическое общество временно приостановило свою официальную деятельность.

Сегодня, благодаря усилиям и успешным политическим стратегиям Главы нашего государства, мы живем в условиях мира и спокойствия, что является незаменимой основой не только для всесторонне развитого гражданского общества, но и для фундаментальных научных исследований и новых инновационных технологических решений.

Следует отметить, что в наше время успешно функционируют физические общества многих стран и ассоциаций мира в направлении развития научных исследований и организации науки. В частности, физические общества вносят значительный вклад в

организацию школ и крупных международных научных конференций, в которых непосредственное обсуждение научных вопросов с представителями научного общества и крупных промышленных компаний имеет большое практическое значение для развития науки. Кроме того, на мероприятиях физических обществ ученые и специалисты, многие из которых являются представителями престижных международных научных школ и крупных технологических компаний, имеют возможность глубоко и объективно оценить потенциал сотрудничества с опытными учеными и молодыми специалистами. Иными словами, проведение подобных научно-практических мероприятий будет способствовать созданию совместных научно-технических проектов и привлечению новых инновационных технологий в науку, производство и промышленность страны, которые в том числе будут содействовать всё большему вкладу физиков страны в реализации «Двадцатилетия изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» в 2020-2040 годах, развитии технического мышления и расширении научного мировоззрения общества и несомненно, приведут к положительным результатам.

Поэтому, принимая во внимание изложенные выше факты, участники Симпозиума физиков Таджикистана поддерживают и подтверждают, что:

- *необходимо возобновить деятельность Таджикского физического общества на базе Физико-технического института им. Умарова Национальной академии наук Таджикистана;*
- *возобновление деятельности Таджикского физического общества, использованием общего потенциала, в сотрудничестве, в том числе с физическими обществами стран мира, является необходимым и своевременным для повышения уровня конкурентоспособности отечественной науки, особенно в свете современной динамики;*
- *развитие научного сотрудничества с физическими обществами мира способствует дальнейшему развитию научных связей и проведению совместных исследований с международными научно-техническими центрами, создает значительные возможности и условия для развития физической науки в стране;*
- *развитие и поддержка естественных, точных и математических наук, в том числе физической науки, путем интеграции и координации исследований физиков страны с мировыми физическими центрами способствует не только повышению уровня физических знаний и исследований, но и непосредственно развитию промышленности, которая является основным показателем развития каждой из стран мира и способствует достижению четвертой национальной стратегической цели – ускоренной индустриализации страны;*
- *следует напомнить, что большинство достижений человечества в первые двадцать лет XXI века – это, прежде всего, результат исследований в области естественных, точных, математических наук, в том числе физики, последняя из которых занимает важное место в современном мире. Поэтому приглашаем международное сообщество всё больше способствовать развитию этих сфер ради устойчивости процветания и созидательной деятельности.*

Участники
Симпозиума физиков Таджикистана,
ФТИ им. С.У.Умарова НАНТ,
25-26 ноября 2021 года

THE FIRST
SYMPOSIUM OF THE PHYSICISTS OF TAJIKISTAN
IN THE HISTORY OF THE COUNTRY'S INDEPENDENCE

Modern technological achievements of mankind prove that the support and development of the exact sciences is one of the most effective ways to increase the level of development of the economy, industry, social sphere and, in general, the status of countries in the international arena. In this regard, the initiative and under the creative leadership of the Head of State are taking a number of very important decisions in this direction, including the proclamation of 2020-2040 as "Twenty years of the study and development of natural, exact and mathematical sciences in the field of science and education", launch of a new Tajik TV channel “Science and Nature” and the holding of the first republican competition "Science is a light of enlightenment" (Ilm - furugi ma'rifat), which opened new pages in the development of Tajik science and were very warmly welcomed not only by representatives of the country's scientific community, but also by all enlightened citizens of the Republic of Tajikistan.

In this regard, in order to further promote the creative initiatives of the Head of State, on November 25-26, 2021 at the S.U.Umarov Physical–Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, the first Symposium of physicists of Tajikistan was held. The main goal of this event was the revival of the Tajik Physical Society, which was established at this institute in 1990, but did not continue its activities due to the problems associated with the collapse of the USSR. An analysis of the experience of other countries in this direction shows that scientific developments and discoveries, the solution of fundamental problems and the implementation of large-scale scientific projects are mainly carried out not by individual scientists, but by professional research teams - from schools and laboratories to scientific circles, by creating a wide coordinated network of scientists and specialists.

Also, an analysis of the problems of the development of physical science on an international scale shows that one of the most effective ways to establish close cooperation between scientists and specialists in this field is joint and coordinated scientific activity in the form of physical societies, which have shown their effectiveness not only in individual countries but also in international arena.

Thus, the first Symposium of Tajik physicists was attended by physicists of the country, representatives of research institutes and universities, who made scientific reports, and also unanimously supported the revival of the Tajik Physical Society in the scientific-organizational section of the Symposium. It should also be noted that the event was attended by, among other things, physicists from the universities of the Republic of Uzbekistan, as well as Tajik physicists from research institutes of the physical profile of the Russian Federation, who spoke in the format of video conferencing.

At the end of the event, in order to express the unanimous solidarity of the participants-physicists of the Symposium with the creative initiatives of the Head of State and the Government of the country on the development of the exact sciences and presenting the position of the country's physicists to the world society, *the Symposium Declaration* was adopted.

With best wishes
and hope for further cooperation:
F. Shokir – Director of the S.U. Umarov PHTI of the NAST

S.U. Umarov Physical–Technical Institute
of the National Academy of Sciences of Tajikistan

DECLARATION
of the Symposium of Physicists of Tajikistan

November 25-26, 2021

November 25-26, 2021 at the S.U. Umarov Physical–Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, a Symposium of physicists of Tajikistan was held, dedicated to the 85th anniversary of academician R. Marupov. The event was attended by physicists of the country from research institutes and universities, who made scientific reports. The event was also attended by physicists from universities of the Republic of Uzbekistan, as well as Tajik physicists from universities of the Russian Federation, who took part and spoke in the format of video conferencing.

The symposium discussed topical issues and areas of modern physics, including theoretical physics, dynamical systems, condensed matter, nanotechnology and new materials, renewable and unconventional energy sources, cosmic rays, nuclear physics and technology, atmospheric physics, climate change. Also discussed were the development of the country's physical and technical sciences since independence, the role of physics in modern society, the role of scientific societies in the modern world.

The experience of recent decades shows that modern science has acquired a more social and collective character, compared to previous centuries. Theoretical developments and discoveries, the solution of fundamental problems and the implementation of large-scale scientific projects are mainly achieved not by individual scientists, but by professional scientific groups - from scientific schools and research laboratories to a wide coordinated network of scientists and specialists. This practice has been developed in all scientific schools of the world through international cooperation of both individual scientists and scientific communities, joint research projects, scientific events - international conferences, symposiums, technical meetings, seminars, etc. At the same time, one of the most effective ways to establish close cooperation between scientists and specialists in specific areas of the countries of the world is the activity of scientific societies, including physical ones.

It should be noted that in 1989 the Physical Society of the USSR was created, a copy of the charter of which is still kept at the S.U.Umarov Physical–Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Later, in 1990, on the basis of this institute, the charter of the Tajik Physical Society was approved and this society began its activities. However, due to the consequences of the collapse of the USSR in 1991 and the difficult period of the 1990s, the Tajik Physical Society temporarily suspended its official activities.

Today, thanks to the efforts and successful political strategies of the Head of our state, we live in peace and tranquility, which is an irreplaceable basis not only for a comprehensively developed civil society, but also for fundamental scientific research and new innovative technological solutions.

It should be noted that in our time the physical societies of many countries and unions of the world are successfully functioning in the direction of the development of scientific research and the organization of science. In particular, physical societies make a significant contribution to the organization of schools and large international scientific conferences, in which direct discussion of scientific issues with representatives of the scientific community and large industrial companies

is of great practical importance for the development of science. In addition, at the events of physical societies, scientists and specialists, many of whom are representatives of prestigious international scientific schools and large technology companies, have the opportunity to deeply and objectively assess the potential of cooperation with experienced scientists and young specialists. In other words, carrying out such scientific and practical events will contribute to the creation of joint scientific and technical projects and the attraction of new innovative technologies in science, production and industry of the country, which, among other things, will contribute to the increasing contributions of the country's physicists to the implementation of the "Twenty years of the study and development of natural, exact and mathematical sciences in the field of science and educationin" in 2020-2040, the development of technical thinking and the expansion of the scientific worldview of society and will undoubtedly lead to positive results.

Therefore, taking into account the above facts, the participants of the Symposium of Physicists of Tajikistan support and confirm that:

- *it is necessary to resume the activities of the Tajik Physical Society on the basis of the Physico-Technical Institute named after Umarov of the National Academy of Sciences of Tajikistan;*
- *the resumption of the activities of the Tajik Physical Society, using the common potential, in cooperation, including with the physical societies of the countries of the world, is necessary and timely to increase the level of competitiveness of domestic science, especially in the light of modern dynamics;*
- *the development of scientific cooperation with the physical societies of the world contributes to the further development of scientific ties and joint research with international scientific and technical centers, creates significant opportunities and conditions for the development of physical science in the country;*
- *the development and support of natural, exact and mathematical sciences, including physical science, by integrating and coordinating research of physicists of the country with world physics centers contributes not only to an increase in the level of physical knowledge and research, but also directly to the development of industry, which is the main indicator of the development of each from countries of the world and contributes to the achievement of the fourth national strategic goal - the accelerated industrialization of the country;*
- *it should be recalled that most of the achievements of mankind in the first twenty years of the 21st century are, first of all, the result of research in the field of natural, exact, mathematical sciences, including physics, the latter of which occupies an important place in the modern world. Therefore, we invite the international community to increasingly contribute to the development of these areas for the sake of sustainable prosperity and creative activity.*

Participants
of the Symposium of Physicists of Tajikistan,
P.I. S.U. Umarova National Academy of Science,
November 25-26, 2021

ФАЪОЛИЯТИ ИЛМИИ АКАДЕМИК Р.МАРУПОВ

Академик
РАҲИМ МАРУПОВ
27.11.1936 – 12.01.2020

Раҳим Марупов олими барҷастаи соҳаи спектроскопияи пайвастаҳои фаромолекулӣ, доктори илмҳои техникӣ, профессор, академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Арбоби шоистаи илм ва техникаи Ҷумҳурии Тоҷикистон, директори фахрии Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон буданд. Устод 27 ноябри соли 1936 дар деҳаи Воғати ноҳияи Ӯротеппа (имрӯза Истаравшан), дар оилаи деҳқон ба дунё омадаанд.

Соли 1948 пас аз хатми мактаби ибтидоии деҳаи Воғат, таҳсилро дар мактаби миёнаи №1-и ба номи А.М. Горкийи шаҳри Ӯротеппа давом дода, онро соли 1954 бо медали нукра хатм намудаанд.

Худи ҳамон сол ба факултети физика ва математикаи Донишгоҳи давлатии Тоҷикистон ба номи В.И. Ленин дохил шуданд. Пас аз хатми донишгоҳ соли 1959 устод ба шуъбаи физика ва математикаи (аз соли 1964 – Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умаров) Академияи илмҳои ҶШС Тоҷикистон ба кор фиристода шуданд ва то охири умр дар он ҷо фаъолияти илмӣ бурданд.

Бо қарори Раёсати Академияи илмҳои ҶШС Тоҷикистон моҳи октябри соли 1959 Р.Марупов барои таҷрибаомӯзӣ ба Институти физикаи Академияи илмҳои ҶШС Белорус ва сипас, ба аспирантура сафарбар шуданд.

Ҳанӯз зимни донишҷӯи соли 4 буданашон Р.Марупов таҳти роҳбарии доктори илмҳои физикаю математика Л.И.Алперович ба корҳои илмӣ оид ба омӯзиши сабабҳои дурахшидани моеъҳо дар зери таъсири гамма-нурҳо ва нурҳои рентгении сахт тадқиқот гузаронида, аввалин кори илмии худро дар ҳаммуаллифӣ бо Л.И.Алперович дар маҷаллаи «Оптика ва спектроскопия» соли 1960 нашр намуданд.

Фаъолияти асосии илмии Р.Марупов соли 1959 дар Институти физикаи Академияи илмҳои ҶШС Белорус, дар лабораторияи физикаи нурҳои инфрасурх (роҳбараш академик Н.Борисевич), дар гурӯҳи профессор Р.Г. Жбанков оғоз гардида, ин тадқиқот ба омӯзиши спектроскопияи лаппиши пайвастаҳои фаромолекулавии селлюлоза ва ҳосилаҳои он бахшида шуда буданд. Ҳамчун тадқиқотчии таҷрибаомӯз ва сипас, аспирант устод бо истифода аз маълумоти спектрҳои инфрасурхи миқдори зиёди пайвастаҳои моделӣ барои селлюлоза тадқиқоти систематикии сохтори модификатсияҳои гидратии табиӣ ва селлюлозаро анҷом доданд, ки дар натиҷа, дар ҳаммуаллифӣ бо Б.И. Степанов ва Р.Г. Жбанков оид ба сабабҳои фарқияти сохтории байни пахта, чӯб ва селлюлозаи гидрат фарзияе пеш оварданд. Баъдан муаллифони шӯравӣ ва хориҷӣ дар корҳои таҷрибавӣ ва ҳисобҳои назариявӣ ин фарзияро тасдиқ кардаанд. Ин тадқиқот барои рисолаи номзадиашон – «*Тадқиқи спектрҳои инфрасурхи селлюлоза ва намудҳои нави ҳосилаҳои он*», ки 24 октябри соли 1964 дар Шӯрои махсуси илмии Институти физикаи Академияи илмҳои ҶШС Белорус барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои физикаю математика дифоъ карда шуд, мусоидат намуд.

Дар як силсила асарҳое, ки дар ҳаммуалифӣ бо Р.Г. Жбанков, З.А. Роговин ва дигарон дар маҷаллаи «Высокомолекулярное соединение» («Пайвастаҳои фаромолекулӣ») нашр шудаанд, яке аз хосиятҳои муҳими полимерҳои селлюлозаи аз ҷиҳати сохторӣ ва кимиёвӣ тағйирёфтаро тадқиқ карданд. Аз селлюлозаи хосиятҳои нави аз ҷиҳати техникӣ арзишманд

маводҳои дорои бузургиҳои пешакӣ муайяншуда, ба монанди сӯзишнопазирӣ, бактерисидӣ, муқовимат ба қатраҳо ва ғайра ба даст оварда шудаанд. Аз ҷумла, маълум гардид, ки яке аз хосиятҳои оташнагирандагии эфирҳои селлюлозаи фосфордор, ин иштироки оксиди фосфор дар пайванди гидрогенӣ бо гурӯҳҳои гидроксил мебошад.

Баъдан, Р.Марупов натиҷаҳои илмӣ доир ба омӯзиши селлюлозаҳои тағйирёфтаро барои тадқиқи механизми рангкунии сохтории як қатор синфҳои полимерҳои синтетикӣ бомуваффақият истифода бурданд. Аз ҷумла нишон дода шуд, ки рангшавии спирти полиинилӣ ҳангоми таъсир бо рангҳои фаъол, дар натиҷаи таъсири кимиёвии гурӯҳҳои гидроксил бо ранг ва рангшавии полиакрилонитрил – аз сабаби ба тиоамид табдил ёфтани гурӯҳҳои нитрилӣ, системаҳои конденсатӣ ҳангоми коркарди он бо сулфиди натрий ба амал меояд. Ин натиҷаҳо дар як силсила мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмии умумииттифоқию (ИҶШС) байналмилалӣ нашр шудаанд, дар ҳамоишу конфронсҳои байналмилалӣ, умумииттифоқию минтақавӣ баррасӣ гардидаанд ва инчунин, дар монографияи устод бо номи «*Спектроскопия волокнообразующих полимеров*» («*Спектроскопияи полимерҳои нахдоркунанда*»), ки соли 1977 аз ҷониби нашриёти «Дониш» - и Академияи илмҳои ҶШС Тоҷикистон чоп шудааст, инъикос ёфтаанд.

Устод Р.Марупов ҳамеша дар ҷустуҷӯи роҳҳои ворид шудан ба асрори табиат, гуфтан мумкин аст, ки ҳаёти худро абадӣ «мураккаб» мекарданд. Махсусан дар омӯзиши сохтори физикии нахи пахта возеҳ буд, ки барои он ҳолати сохтори физикӣ вобаста ба пайдоиш ва тағйироти сохторӣ омӯхта нашуда буд, ки боиси халли як қатор мушкилот дар ташаккули технологияи истеҳсоли маҳсулот дар асоси нахи пахта ва пеш аз ҳама, бо набудани техникаи тадқиқотӣ алоқаманд буд. Ин имкон медиҳад, ки дар бораи ташаккули сохтори молекулавӣ - динамикии минтақаҳои бетартибии нахи пахта дар раванди биосинтез маълумот ошкор карда шавад. Аз ин рӯ, дар якҷоягӣ бо ҳамроҳии Р.Г.Жбанков, Н.В. Иванова, П.Х. Бобоҷонов ва Г.И. Лихтенштейн усулҳои махсусро таҳия карданд, ки имкон дод, то бори аввал аломатҳои спектроскопиро системанок намоянд ва хусусиятҳои нозуки сохтории нахҳои пахтаи пайдоиши гуногун (нахи маҳин ва миёна), нахҳои растаниҳои солим ва аз вилт зарардидаро ошкор созанд. Тафовут дар сохтори минтақаҳои бетартиби макромолекулаҳои нах пайдо шуд. Муайян карда шудааст, ки гирифтории пахта ба касалии вилт ба хусусиятҳои физикию механикӣ ва физикию кимиёвии нахҳои он таъсири назаррас мерасонад. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ нишон дода шудааст, ки нахҳои пахтаи маҳиннах аз рӯи сохтори баландтарини таъсири ҳарорати ишқорҳо, барои мубодилаи дейтерий дастрасии камтар доранд.

Дар асоси ботартиб ҷойгиркунии маълумот оид ба омӯзиши спектрҳои қисмҳои таркибии пахта, аз тухм то нахи пахта, хулоса, дар бораи вайрон шудани фаъолияти ферментҳо ва зарурати истифодаи усулҳои физикии коркарди тухмӣ, ки метавонад қобилияти биологии фаъолияти ферментҳоро ба эътидол орад, тадқиқот гузарониданд. Ин тадқиқот татбиқи васеи усулҳои спектроскопиро дар хоҷагии халқ, биология, фотофизикаи лазерӣ ва фотохимияи полимерҳои табиӣ фароҳам овард. Ҳамчунин, тадқиқоти мазкур дар

монографияи Р.Г. Жбанков, Р.Марупов, Н.В. Иванова ва А.М. Шишко таҳти унвони «Спектроскопияи пахта» ҷамъбаст гардида, соли 1976 дар нашриёти «Наука» - и Москва интишор ёфт ва асоси рисолаи доктории устод Р.Маруповро ташкил карданд. Р.Марупов рисолаи доктории худро 24 июни соли 1984 дар Шӯрои диссертатсионии Институти илмӣ-тадқиқотии маводҳои кимиёвии назди Иттиҳодияи илмӣ - истеҳсолии шаҳри Қазон бомуваффақият ҳимоя карда, сазовори дараҷаи илмии доктори илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.17.10 – технологияи маводҳои махсус гардиданд.

Маврид ба зикр аст, ки тадқиқоти муштарак ва ниҳоят самарабахши пахта ва селлюлозаи пахта бо усулҳои спектроскопӣ байни Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умаров ва институтҳои Академияи илмҳои Белорус бо ташаббуси бевоситаи устод Р.Марупов дар давоми солҳои зиёд гузаронида шуданд. Бори аввал дар таҷрибаи ҷаҳонӣ сохтор ва селлюлозаи пахта, динамикаи молекулавии нахҳои пахтаи пайдоиши гуногуни генетикӣ, таъсири бемории пахта бо вилт ба ин бузургиҳо ва таъсири γ - афканишот пеш аз кишти тухми пахта омӯхта шуданд.

Тадқиқоти муҳим дар асоси истифодаи спектроскопияи резонанси электропарамагнитӣ (ЭПР) ва тамғаҳои чархзанӣ бо ташаббус, таҳти роҳбарӣ ва иштироки бевоситаи устод Р.Марупов анҷом дода шуданд. Ин натиҷа ва дигар дастовардҳои аслӣ дар монографияҳои устод, ки ба спектроскопияи полимерҳои нахдор ва динамикаи молекулавии нахи селлюлоза бахшида шудаанд, муфассал тавсиф гардидаанд.

Дар як силсила мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои «Биофизика», «Маҷаллаи спектроскопияи амалӣ», «Пайвастагиҳои фаромолекулӣ», Гузоришҳои Академияи илмҳои ИҶШС ва Академияи илмҳои ҶШС Тоҷикистон, «Химия ва технологияи селлюлоза» ва ғайра, инчунин дар ҷаласаҳо, конфронсҳо дар якҷоягӣ бо профессор Г.И. Лихтенштейн, С.Исломов, П.Х. Бобоҷонов, И.Х. Юсупов ва дигарон бо истифода аз тамғаҳои чарх ва люминессентӣ хусусиятҳои сохти молекулавии селлюлозаи пахтаро дар ҷараёни биосинтези он, нахҳои пахта ва заҳир, нитратҳои селлюлозаро омӯхта, қонунияти тағйирёбии бузургиҳои молекулавӣ - динамикии спектрҳои ЭПР ва робитаи онҳоро бо хосиятҳои физикӣ - механикӣ, ки меъёри арзёбии сифати маҳсулоти аз ҷиҳати техникӣ арзишмандро муайян менамоянд, се марҳилаи ташаккули сохтори физикии селлюлозаи пахта дар ҷараёни биосинтези он муқаррар карда шудааст:

1. Ташаккули асоси скелетӣ-конформативии пахтанахҳо, ба истилоҳ – марҳилаи молекулавӣ;
2. Марҳилаи якбора коҳиш ёфтани таркиби қитъаҳои пастбатартибомадаи селлюлоза ва ташаккули бунёдии хосиятҳои сохтори физикии он – марҳилаи сохторӣ.
3. Марҳилаи анҷомёбии ташаккули сохтори физикии қитъаҳои пастбатартибомадаи селлюлоза, ба истилоҳ – марҳилаи ниҳоӣ.

Табиат ва намудҳои ҳаракати нишонгузории спинии занҷирҳои селлюлоза вобаста ба пайдоиши онҳо, ҳарорат, намӣ ва хосиятҳои сохтории нитратҳои селлюлоза арзёбӣ гардидаанд. Нишон дода шуд, ки навъҳои нахи маҳини пахта дорои тақрибан 2% марҳилаҳои бетартибии фаза, нахи миёна – 6%, вале гирифтории бемории пахта бо вилт, миқдори марҳилаҳои бетартибонаи фазаҳо якбора меафзояд, ки тақрибан 28%-ро ташкил медиҳанд.

Хусусиятҳои физикию механикӣ ва амалии маҳсулот дар асоси селлюлозаи пахта аз хусусиятҳои сохтори ашёи хом ва тағйироти минбаъдаи сохтории полимер вобаста аст. Аммо, пеш аз тадқиқоти академик Р.Марупов оид ба сохтор ва динамикаи молекулавии занҷирҳои полимерӣ дар нахҳо, дар бораи робитаи тағйироти сохторӣ ва хосиятҳои физикӣ - механикӣ ва физикӣ - химиявии нах равшании кофӣ вуҷуд надошт.

Академик Р.Марупов як маҷмӯи васеи усулҳои тадқиқоти физикӣ ва физикию химиявӣ, ба монанди спектроскопияи инфрасурх, резонанси парамагнитӣ, резонанси магнитии ҳастаӣ, спектроскопияи люминессентӣ бо истифода аз тамғаҳои радикали озод (спин) ва тамғаҳои люминессентиро истифода бурданд. Ин тадқиқот имкон дод, ки робитаи байни ҳаракати аломатҳо бо қувваи нах, пайдоиши генетикии он ошкор карда шавад ва дурнамои нави беҳтар намудани нишондиҳандаҳои сифати нах тавассути истифодаи чунин омилҳо, ба монанди ҷамъшавии селлюлоза дар раванди биосинтез, ҳарорат ва пластификатсияи он имконпазир гардад.

Дар асоси маводи ҷамъшудаи илмӣ, ки устод Р.Марупов якҷоя бо шогирдонашон анҷом доданд, монографияи «*Динамикаи молекулавии нахи селлюлоза*» соли 1995 аз ҷониби нашриёти «Дониш» - и Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудааст.

Доираи тадқиқоти илмии академик Р.Марупов фарох буда, масоили марбут ба омӯзиши сохтории пайвастаҳои мухталифро дар бар мегирад. Дар мақолаҳои сершумор якҷоя бо профессор Е.М. Глазунова ва дигарон, ки дар маҷаллаи «Спектроскопияи амалӣ» интишор намудаанд ва дар маводҳои конфронсҳои сатҳҳои гуногун, ки ба омӯзиши хусусияти робитаҳои байнимолекулавӣ дар дохили ҳосилаҳои биологии фаъоли гидроксил дохил шудаанд, силсилаи атсетилен, масъалаҳои бунёдии ҷойгиршавии фазогӣ ва мувофиқати имконпазири гурӯҳҳои функсионалӣ вобаста ба сохтори химиявии онҳо, ки дар синтези доруҳои ба онҳо асосёфта аҳамияти асосӣ доранд, пешниҳод карда шудааст.

Академик Р.Марупов дар таҳия ва ҳалли мушкилоти таъсири нури лазерӣ бо полимерҳо ва композитҳо саҳми арзанда гузоштаанд. Аз ҷумла, дар якҷоягӣ бо шогирдашон Л.И. Калонтаров модели ноустувории рӯшноӣ - термохимиявӣ дар наздикшавии ғайрисистемавиро таҳия кардаанд. Дар ин модел ба таври таҷрибавӣ нишон дода шудааст, ки вайроншавии полимерҳо дар зери нури доимии лазерӣ тавассути рушди ноустувории термохимиявӣ ба амал меояд. Бо истифода аз мисоли спирти поливинилӣ, имкони

худидоракунии фазогии реаксияҳои термохимиявии макромолекулаҳо, бинобар сабаби ғайриякхелагии гармкунии лазерӣ нишон дода шудааст.

Омӯзиши хосиятҳои пайвастагиҳои органикӣ ва ғайриорганикии пайдоишашон растанигї, ки дар зери таъсири бефосилаи омилҳои беруна (радиатсия, таркиби химиявии хок, баландии макони сабзиш, температураи муҳити сабзиш ва ғайра) синтез мешаванд, яке аз масъалаҳои мубрами физика, химия ва дигар илмҳо ба ҳисоб меравад. Ташаккулёбии сохтори молекулавӣ ва байнимолекулавии пайвастагиҳои растанигї аз таъсири омилҳои беруна вобастагии калон дорад. Таҳлили сарчашмаҳои илмї нишон медиҳад, ки аксаран, пайвастагиҳои органикии растаниҳое, ки дар шароити фони радиатсионии мўътадил сабзидаанд, мавриди омӯзиш қарор дода шудааст.

Дар давоми даҳсолаи охири умр устод Р.Марупов ба тадқиқоте, ки таъсири омилҳои муҳити зистро ба раванди биосинтез ва ташаккули гурӯҳҳои функсионалии баъзе растаниҳои шифобахши дар шароит ва минтақаҳои гуногуни Ҷумҳурии Тоҷикистон рӯянда, машғул буданд. Таъсири экологияи минтақаи афзоиш ба ташаккули системаи пайвандҳои байнимолекулавӣ ва дохили молекулавии гидрогенӣ тадқиқ карда шуд ва басомадҳои хос дар ҷараёни биосинтези пайвастагиҳои хурдмолекулавӣ низ муайян карда шуд, ки хосиятҳои шифобахши онҳо хусусиятҳои фармакологии растаниҳои шифобахшро инъикос мекунанд. Бинобар ин солҳои охир устод пурра ба омӯзиши хусусиятҳои физикию химиявии растаниҳои шифобахши Тоҷикистон машғул буданд ва орзу доштанд ки як маркази илмии таҳқиқоти растаниҳои шифобахши Тоҷикистон бо ҷалби физикдонҳо, кимиёшиносон, тибибон ва дорусозон ташкил намоянд вале афсӯс ин орзуяшон амали нашуд.

Бояд қайд кард, ки дар ин самт бо роҳбарии устод академик Р.Марупов ду рисолаи номзади илм (Умаров Н.Н., соли 2018, Давлатмамадова С.Ш., соли 2020) ҳимоя шуд ва ҳамчунин як рисолаи доктори илм (Юсупов И.Х., соли 2022) омода карда шуда ба ҳимоя пешниҳод шудааст.

Хушбахтона баъзе аз таҳқиқоти он кас дар соҳаи омӯзиши растаниҳои шифобахши Тоҷикистон дар монографияи Умаров Н.Н., Усмонов А., Шукуров Т., Марупов Р. «Спектроскопия природных растительных соединений по инфракрасным спектрам поглощения». Хуҷанд, Нашриёти «Нури маърифат» соли 2021 иборат аз 188 саҳифа ба таъб расидааст.

Устод Р. Марупов дар тайёр кардани мутахассисони баландихтисос диққати аввалиндараҷа медоданд ва ба як қатор рисолаҳои номзадӣ ва докторӣ роҳбарӣ карда, барои омода ва дифоъ намудани рисолаҳояшон дар лабораторияе, ки роҳбаришро бар ўҳда доштанд, шароити хуби корӣ фароҳам оварда буданд.

Ҳамчун узви шўроҳои диссертатсионӣ оид ба тайёр намудани кадрҳои илмӣ ва додани унвонҳои илмӣ дар назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Донишгоҳи техникии

Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи милли илмҳои Тоҷикистон академик Р.Марупов корҳои зиёдеро анҷом дода, дар таҳия ва ҳалли мушкилоти бунёдии муосири физика ва химия дар ҷумҳурӣ саҳми назаррас гузоштаанд. Устод то охири лаҳзаҳои ҳаёт узви ҳайати таҳририяи маҷаллаҳои «Гузоришҳои Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон» ва «Ахбори Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон» буданд.

Фаъолияти пурсамари илмии устод Р.Марупов бо медали «Барои шуҷоати меҳнатӣ» ба ифтихори 100-солагии зодрӯзи В.И.Ленин (1970), қадрдонӣ шудааст. Ҳамчунин, ба унвони фахрии «Ходими шоистаи илм ва техникаи Ҷумҳурии Тоҷикистон» сазовор дониста шудаанд. Соли 2003 барои як силсила тадқиқоте, ки ба динамикаи молекулавии нахҳои пахта бахшида шудаанд, академик Р.Марупов ба Ҷоизаи давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ба номи Абуалӣ ибни Сино дар соҳаи илм ва техника мушарраф гардонида шуданд.

Академик Р.Марупов 29 августи соли 2018 дар таҳкими муносиботи чандинасраи дӯстӣ ва ҳамсоягии бародаронаи халқҳои Ӯзбекистон ва Тоҷикистон, барои фаъолияти назаррасу пурсамари густариши робитаҳои фарҳангӣ ва башардӯстона, эҳтиёткорона нигоҳ доштан ва такмил додани мероси таърихии умумӣ, арзишҳои маънавӣ ва анъанаҳо, хизмат дар рушди ҳамкории мутақобилан судманди иқтисодӣ, шарикии ҳамаҷонибаи стратегии ҷумҳуриҳои Тоҷикистон ва Ӯзбекистон аз ҷониби Ҳукумати Ҷумҳурии Ӯзбекистон бо ордени «Дӯстлиқ» мукофотонида шудаанд.

Академикони АМИТ:
Ф. Раҳимӣ, С. Одинаев, Ҳ.Ҳ. Муминов
Узви вобастаи АМИТ – Т.Ҳ. Солиҳов
Д.и.ф.м., профессор – С.Ф.Абдуллоев
Директори ИФТ ба номи С.У.Умаров – Ф.Шокир
Ҳайати кормандони Институти физикаю-техникаи
ба номи С.У. Умарови Академияи милли илмҳои Тоҷикистон

К МОЛЕКУЛЯРНОЙ ТЕОРИИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА, УПРУГИХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ И РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Одинаев С. [1], Акдодов Д.М. [2], Х.И.Идибегзода[1], Р.С. Мамадбегов [3], Шарифов Н. [4]
[1]*Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе*
[2]*Таджикский национальный университет, Душанбе*
[3]*Российско-Таджикский (Славянский) университет (РТСУ), Душанбе, Таджикистан*
[4]*Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими, Душанбе*

Использование растворов электролитов требует знания их транспортных, диэлектрических и акустических свойств в широком интервале изменения термодинамических параметров состояния и частот внешнего воздействия. Изучение молекулярного механизма различных релаксационных процессов позволяют определить практически все термодинамические и кинетические параметры, характеризующие состояние жидкости. Кроме того, знание частотно-зависящих кинетических коэффициентов и модулей упругости с учетом вкладов различных релаксационных процессов, главным образом, структурной релаксации, позволяет подробно теоретически исследовать акустические свойства жидкостей – дисперсию скорости и коэффициента поглощения звука, спектр коллективных мод растворов в широком диапазоне частот. Настоящая работа посвящена методу полученных результатов по изучению и исследованию этих вопросов на основе молекулярно-кинетической теории [1].

Микроскопическое описание ионно-молекулярных систем, к которым относятся растворы электролитов, пригодное в широкой области ионных концентрации, следует базировать на последовательном учете всевозможных взаимодействия структурных единиц раствора. При исследовании диссипативных процессов, выбор ионно-молекулярных потенциалов и определения радиальной функции распределения, описывающий равновесной структуры растворов электролитов в различных приближениях согласно [2] считаем известными.

На основе кинетических уравнений для одно- и двухчастичной функций распределения, полученные с учетом вкладов крупномасштабных флуктуаций [1]. Полученные и решение методом Грэда исходные кинетические уравнений для одно- и двухчастичной функции распределения. На основе этих исходных кинетических уравнений исследуется явления переноса, упругих, акустических и диэлектрических свойства жидкостей и растворов электролитов. Получены динамические коэффициенты вязкости, тепло- и электропроводности, коэффициента диэлектрического проницаемости а также соответствующие динамические модули объемной, сдвиговой, термо- и электроупругости, которые учитывают вклады трансляционной и структурной релаксаций протекающих в растворов электролитов [2-15]. Далее при определённом выборе модели раствора проведены численные расчеты вязкоупругих, электропроводящих и диэлектрических свойств для водных растворов LiCl, NaCl, KCl и CsCl в зависимости от термодинамических параметров состояния (плотности ρ, концентрации C, температуры T) и частоты ω в приближении теории Мак-Миллана-Майера, где растворитель предполагается сплошной средой и в нем имеет место тепловое движение ионной подсистемы. Вклад растворителя в коэффициенты переноса и модули упругости учитывается посредством коэффициента

диэлектрической проницаемости растворителя ε_{ss}. Описание растворов электролитов в рамках этой модели называют феноменологическим и в [16,17] показано, что растворитель можно исключить из явного рассмотрения, представив теорию в форме, в которой явно фигурируют только ионы растворенного вещества. Для определения коэффициента трения воспользуемся следующими аналитическими выражениями для β_a и β_b:

$$\beta_a^2 = \sum_a \frac{4\pi}{3}\rho_a kT \sum_b d_{ab} \int_0^\infty \nabla^2 \Phi_{ab}^*(r) g_{ab}^0(r) r^2 dr,$$
$$\beta_b^2 = \sum_b \frac{4\pi}{3}\rho_b kT \sum_a d_{ab} \int_0^\infty \nabla^2 \Phi_{ab}^*(r) g_{ab}^0(r) r^2 dr. \quad (1)$$

Межчастичный потенциал взаимодействия $\Phi_{ab}(r)$ принимаем в виде суммы потенциальной энергии Леннард-Джонса и обобщенного потенциала Дебая [16-18] с учетом конфигурации размеров ионов:

$$\Phi_{ab}(r) = 4\varepsilon_{ab}\left(r^{-12} - r^{-6}\right) + \frac{R_{ab}}{r} e^{-\chi^* r}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ab} = \sqrt{\varepsilon_{aa}\varepsilon_{bb}}$, $d_{ab} = (d_a + d_b)/2$- параметры потенциала Леннард-Джонса, $R_{ab} = \frac{f z_a z_b e^2}{kT\varepsilon_{SS} d_{ab}} \frac{\exp(\chi^*)}{1+\chi^*}$, $f = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot 10^9$ м/Ф, ε_0-электрическая постоянная, ε_{SS} - коэффициент диэлектрической проницаемости растворителя, e- элементарный заряд, z_a, z_b - валентность ионов сортов a и b; $\chi^* = d_{ab}\chi_a$ приведенный обратный дебаевский радиус экранировки [19]:

$$\chi^2 = \frac{\sum_a n_a e_a^2}{\varepsilon_{SS}\varepsilon_0 kT}.$$

Радиальную функцию распределения ионной подсистемы запишем следующим образом:

$$g_{ab}(r) = y(r,\rho^*)\, e^{-\frac{\Phi_{ab}(r)}{kT}}, \quad (3)$$

где $y(r,\rho^*)$ - бинарная функция распределения двух полостей, имеющая вид

$$y(\rho^*) = \frac{(2-\rho^*)}{2(1-\rho^*)^3}.$$

Здесь $\rho^* = \frac{\pi}{6} n d_{ab}^3 = \frac{\pi}{6}\rho \frac{d_{ab}^3 N_0}{M}$ - приведенная плотность.

В серии работ [2-15], с учетом (1)-(3), проведены численные расчеты коэффициенты вязкости, тепло- и электропроводности, коэффициента диэлектрического проницаемости а также соответствующие их динамические модули объемной, сдвиговой, термо- и электроупругости для водных растворов LiCl, NaCl, KCl и CsCl. Результаты проведены в виде таблиц и рисунков, а также сравнены с экспериментальными данными, которые находятся в удовлетворительном согласии.

Литература

1. Одинаев, С.Адхамов А.А. Молекулярная теория структурной релаксации и явлений переноса в жидкостях. Душанбе: Дониш, 1998.
2. С.Одинаев, Д.М.Акдодов, Н.Ш.Шарифов, Х.Мирзоаминов. О частотной дисперсии вязкоупругих свойств растворов электролитов // Журнал физической химии, 2010.-Т.84.-№6.-С.1063-1068.
3. С.Одинаев, Д.М.Акдодов. Области частотной дисперсии коэффициента сдвиговой вязкости водных растворов электролитов // Журнал физической химии, 2013.-Т.87. -№7.-С.1154–1159.
4. С.Одинаев, Д.М.Акдодов, Н.Шарифов. Частотная дисперсия динамических модулей упругости растворов электролитов // Журнал физической химии, 2016.-Т.90.-№2.-С.294-299.
5. С.Одинаев, Д.М.Акдодов. Зависимость частотной дисперсии коэффициента объемной вязкости растворов электролитов от природы затухания релаксирующих потоков // Журнал физической химии, 2016.-Т.90.-№6.-С.877-884.
6. Одинаев С., Идибег Х. К статистической теории электропроводяших свойства растворов электролитов // Доклады АН Республики Таджикистан, 2017.-Т.60.-№7-8.-С.320-328.
7. Одинаев С., Акдодов Д.М., Идибегзода Х.И. Исследование частотной дисперсии коэффициента удельной электропроводности водных растворов электролитов // Журнал структурной химии, 2019, Т. 60, № 3, с.452-460.
8. Одинаев С., Акдодов Д.М., Идибегзода Х.И. Численный расчет концентрационной и температурной зависимостей коэффициента удельной электропроводности водных растворов электролитов // Журнал Физической Химии, 2019, том 93, № 6, с. 930–937.
9. Одинаев С., Акдодов Д.М., Идибегзода Х.И. Частотная дисперсия модуля электроупругости водных растворов электролитов // Журнал структурной химии, 2019, Т. 60, № 9, с.1476-1484.
10. Одинаев С., Махмадбегов Р. К статистической теории диэлектрических свойств растворов электролитов // ДАН РТ. – 2013. – Т. 56. – №5. – С. 381-388.
11. Одинаев С., Махмадбегов Р.С.Исследование диэлектрических свойств и частотных спектров диэлектрических потерь водного раствора NaCl в зависимости от параметров состояния // Укр. физ. журн. – 2015. – Т. 60, – № 9, – С. 862-869.
12. Одинаев С., Махмадбегов Р.С. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь водных растворов KCl и CsCl в зависимости от параметров состояния УФЖ // Укр. физ. журн. – 2015. – Т. 60, – № 12, – С. 1212-1219.
13. Одинаев С., Махмадбегов Р.С. Исследование частотной дисперсии коэффициента диэлектрической проницаемости растворов электролитов / // Журнал Физической Химии. – 2016. – Т. 90. – № 1. – С. 52-58.
14. Одинаев С., Махмадбегов Р.С. Расчет частотных спектров коэффициентов диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь водных растворов электролитов //Журнал Физической Химии, 2018, том 92, № 1, с. 107–114.
15. Одинаев С., Махмадбегов Р.С. Численный расчет коэффициентов диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь водного раствора KF от параметров состояния // Журнал структурной химии - 2018. Том 59, № 3, С. 621-628.
16. Юхновский И.Р., Головко М.Ф. Статистическая теория классических равновесных систем. Киев: Наук. думка, 1980, 372с.
17. Смирнова Н.А. Молекулярные теории растворов // Л.: Химия, 1987.-336с.
18. Эрдеи–Груз Т. Явления переноса в водных растворах. М.: «Мир», 1976. 597 с.
19. Krienke H., Barthel J. Equations of State for Fluids and Fluids Mixtures. Chapter 16 - Ionic fluids // Ed. By J.V. Sengers et al. Amsterdam: Elsevier, – 2000. – P. 751-803.

К ТЕОРИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКИ НЕЛИНЕЙНОГО ФОТОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ДВУХСЛОЙНЫМИ ОБРАЗЦАМИ

Т.Х.Салихов, Н.Меликхуджа, А.Махмалатиф, Ю.П.Ходжаев
Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан
tsalikhov@mail.ru

Систематические исследования нелинейной составляющей фотоакустического (ФА) отклика показали, что первые две гармоники этого сигнала насыщены информацией о широком наборе физических величин исследуемых образцов (см., например,[1,2] и приведенную там библиографию). Целью настоящей работы являлось развитие теории возбуждения основной гармоники (ОГ) нелинейного фотоакустического (ФА) сигнала для случая, когда подложка, наряду с двумя слоями образца, является поглощающей. Мы исходили из следующей системы нелинейных уравнений теплопроводности для всех четырех слоев (буферного газа, первых и вторых слоев образца и подложки) в ФА - камере:

$$C_{pg}(T_g)\frac{\partial T_g}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}(\kappa_g(T_g)\frac{\partial T_g}{\partial x}),\qquad 0\le x\le l_g\,, \tag{1}$$

$$C_{PS(1)}\frac{\partial T'_{S(1)}}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}[k_{S(1)}(T)\frac{\partial T'_{S(1)}}{\partial x}]+0.5I_0A_{S(1)}(T)(1+e^{i\omega t})e^{\beta_1 x}\,,-l_1\le x\le 0\,, \tag{2}$$

$$C_{PS(2)}\frac{\partial T'_{S(2)}}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}[k_{S(2)}(T)\frac{\partial T'_{S(2)}}{\partial x}]+0.5I_0A_{S(2)}(T)(1-R_{S(1)}(T))(1+e^{i\omega t})e^{-\beta_1 l_1}e^{\beta_2(x+l_1)}\,,-(l_1+l_2)\le x\le -l_1, \tag{3}$$

$$C_{Pb}\frac{\partial T_b}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}[\kappa_b(T)\frac{\partial T_b}{\partial x}]+0.5\beta_b I_2 e^{\beta_b(x+l_1+l_2)}(1+e^{i\omega t})\,,-(l_b+l_1+l_2)\le x\le -(l_1+l_2)\,, \tag{4}$$

где C_{pi},κ_i, A_i, R_i - теплоемкость единицы объема, коэффициент теплопроводности, поглощательная способность (степень черноты) и коэффициент отражения соответствующих слоев, соответственно, а

$$I_2=I_0(1-R_{S(1)})(1-R_{S(2)})A_b\exp[-\beta_1 l_1-\beta_2 l_2]\,.$$

Температурную зависимость величин C_{pi},κ_i и A_i примем в линейном виде

$$C_{pi}(T)=C_{pi}^{(0)}(1+\delta_i T_i')\,,\ \kappa_i(T)=\kappa_i^{(0)}(1+\delta_{2i}T_i')\,,\ A_i(T)=A^{(0)}(1+\delta_{3i}T_i')\,,$$

где δ_{2i} и δ_{3i} являются термическими коэффициентами этих величин. Также примем во внимание тот факт, что величина A_i характеризует оптические свойства поверхности образца. Представим возмущение температуры в виде суммы локально-равновесной $T_{0i}(x)$, линейной $\Phi_i(x,t)$ и нелинейной акустических частей $\Phi_{Ni}(x,t)$, т.е. в виде

$$T_i'(x,t)=T_{0i}(x)+\Phi_{Li}(x,t)+\Phi_{1Ni}(x,t)+\Phi_{2Ni}(x,t)\,. \tag{5}$$

Тогда из системы уравнений (1)-(4) получим следующую систему уравнений для $\Phi_{1Ni}(x,t)$ - акустических колебаний температуры на ОГ:

$$\frac{\partial^2\Phi_{1Ng}(x,t)}{\partial x^2}-\frac{1}{\chi_g^{(0)}}\frac{\partial\Phi_{1Ng}}{\partial t}=-(\delta_{2g}\frac{\partial^2}{\partial x^2}-\frac{\delta_g}{\chi_g^{(0)}}\frac{\partial}{\partial t})[T_{0g}(x)\Phi_{Lg}(t,x)]\,, \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{1NS(1)}(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\chi_{1S(1)}^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{1NS(1)}}{\partial t} - (\delta_{2S(1)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_{1S(1)}}{\chi_{1S(1)}^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})(T_{0S(1)}(x)\Phi_{LS(1)}(x,t)) - \frac{I_0 A_{S(1)}^{(0)} \beta_1 e^{\beta_1 x}}{2k_{S(1)}^{(0)}} \times, \quad (7)$$

$$\times \delta_{3(1)}[e^{i\omega t}\Theta_0 + \Phi_{LS(1)}(0,t)]$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{1NS(2)}(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\chi_{1S(2)}^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{1NS(2)}}{\partial t} - (\delta_{2S(2)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_{1S(2)}}{\chi_{1S(2)}^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})(T_{0S(2)}(x)\Phi_{LS(2)}(x,t)) -$$

$$- \frac{I_0 A_{S(1)}^{(0)} (1-\mathrm{R}_{S(1)})^{(0)} \beta_2 e^{\beta_2 (x+l_1)} e^{-\beta_1 l_1}}{2k_{S(2)}^{(0)}} \delta_{3(2)}[e^{i\omega t} W_{01} + \Phi_{LS(2)}(-l_1,t)], \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{1Nb}(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_b^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{1Nb}}{\partial t} = -(\delta_{2b} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_b}{\chi_b^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})[T_{0b}(x)\Phi_{Lb}(t,x)] - \frac{\beta_b I_2 A_b^{(0)} e^{\beta_b (x+l_1+l_2)}}{2\kappa_b^{(0)}} \times, \quad (9)$$

$$\times \delta_{3b}[e^{i\omega t} W_{02} + \Phi_{Lb}(-l_1,-l_2,-t)]$$

Выражения для $\Phi_{Lg}(x,t)$, $\Phi_{Ls(1)}(x,t)$, $\Phi_{Ls(2)}(x,t)$ и $\Phi_{Lb}(x,t)$ получены в [3,4] и имеют следующий вид:

$$\Phi_{Lg}(x,\omega) = \Theta_L e^{-\sigma_{1g} x}, \Theta_L = \Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3, \; E_1 = \frac{\eta_1 \beta_{1S(1)}}{2\kappa_1(\sigma_{1S(1)}^2 - \beta_{1S(1)}^2)}, \quad \eta_1 = I_0 A_{s(1)},$$

$$\Phi_{Ls(1)}(x,\omega) = \gamma_1 e^{\sigma_{1S(1)} x} + \gamma_2 e^{-\sigma_{1S(1)} x} + E_1 e^{\beta_{1S(1)} x}, E_2 = \frac{\eta_2 \beta_{1S(2)}}{2\kappa_2(\sigma_{1S(2)}^2 - \beta_{1S(2)}^2)}, \eta_2 = I_0(1-R_{s(1)}) A_{s(2)} e^{-\beta_{1S(1)} l_1},$$

$$\Phi_{Ls(2)}(x,\omega) = G_1 e^{\sigma_{1S(2)}(x+l_1)} + G_2 e^{-\sigma_{1S(2)}(x+l_1)} + E_2 e^{\beta_{1S(2)}(x+l_1)}, \eta_b = I_0(1-R_{s(1)})(1-R_{s(2)}) A_{(3)} e^{-\beta_{1S(1)} l_1} e^{-\beta_{1S(2)} l_2},$$

$$\Phi_{Lb}(x,\omega) = R_1 e^{\sigma_b (x+l_1+l_2)} + E_b e^{\beta_b (x+l_1+l_2)}, \quad E_b = \frac{\eta_b \beta_b}{2\kappa_b(\sigma_b^2 - \beta_b^2)}.$$

Здесь использованы следующие обозначения: $\sigma_i^2 = i\omega / \chi_i$, $\sigma_i = (1+i)a_i$, $a_i = 1/\mu_i$, $\mu_i = (2\chi_i / \omega)^{1/2}$ - длина тепловой диффузии, $\gamma_1 = \Delta_1 / \Delta$, $\gamma_2 = \Delta_2 / \Delta$,

$$\Theta_1 = \frac{E_1\{N_1(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + N_2(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2} - 2e^{-\beta_{1S(1)} l_1} N_3\}}{[(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}},$$

$$\Theta_2 = \frac{2sE_2[(r_2+1)(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + (r_2-1)(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2} - 2e^{-\beta_{1S(2)} l_2}(r_2-b)]}{[(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}},$$

$$\Theta_3 = \frac{2sbE_b(r_b-1)}{[(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}},$$

$$\Delta = -\{[(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}\},$$

$$\Delta_1 = -E_1\{[r_1(s-1)(1-b)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (s+1)(1+b)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} e^{\sigma_{1S(2)} l_2}] + [(s+r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (s-r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}]\}$$

$$+ E_2 s\{[(1+r_2)(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (1-r_2)(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}] - 2(r_2-b)e^{-\beta_{1S(2)} l_2}\} + 2E_b bs(r_b-1),$$

$$\Delta_2 = E_1\{[r_1(s+1)(1-b)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (s-1)(1+b)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} e^{\sigma_{1S(2)} l_2}] - [(s+r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (s-r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}]\}$$

$$+ E_2 s\{[(1+r_2)(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (1-r_2)(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}] - 2(r_2-b)e^{-\beta_{1S(2)} l_2}\} + 2E_b bs(r_b-1),$$

$$\gamma_1 = \frac{E_1 N_5 - E_2 s[N_4 - 2(r_2-b)e^{-\beta_{1S(2)} l_2}] - 2E_b s(r_b-1)b}{[(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}},$$

$$\gamma_2 = \frac{E_1 N_6 - E_2 s[N_4 - 2(r_2 - b)e^{-\beta_{1S(2)} l_2}] - 2E_b s(r_b - 1)b}{[(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} - (1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}},$$

$$N_1 = [(r_1+1)(1+s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} + (r_1-1)(1-s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1}],\ N_2 = [(r_1+1)(1-s)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} + (r_1-1)(1+s)e^{\sigma_{1S(1)} l_1}],$$

$$N_3 = [(r_1+s)(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + (r_1-s)(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}],\ N_4 = [(1+r_2)(1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - (1-r_2)(1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2},$$

$$N_5 = [r_1(s-1)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} + (s+r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}](1-b)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} - [r_1(s+1)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} + (s-r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2},$$

$$N_6 = [r_1(s+1)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} - (s+r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}](b-1)e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + [r_1(s-1)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} - (s-r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1}](1+b)e^{\sigma_{1S(2)} l_2}],$$

$$R_1 = G_1 e^{-\sigma_{1S(2)} l_2} + G_2 e^{\sigma_{1S(2)} l_2} + E_2 e^{-\beta_{1S(2)} l_2} - E_b,\ s = \frac{k_{S(2)}\sigma_{1S(2)}}{k_{S(1)}\sigma_{1S(1)}},\ b = \frac{k_b \sigma_b}{k_{S(2)}\sigma_{1S(2)}},\ r_1 = \frac{\beta_{1S(1)}}{\sigma_{1S(1)}},\ r_2 = \frac{\beta_{1S(2)}}{\sigma_{1S(2)}},\ r_b = \frac{\beta_b}{\sigma_b},$$

$$G_1 = \{\gamma_1(s+1)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} + \gamma_2(s-1)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} + E_1(s+r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1} - E_2 s(1+r_2)\}(2s)^{-1},$$

$$G_2 = \{\gamma_1(s-1)e^{-\sigma_{1S(1)} l_1} + \gamma_2(s+1)e^{\sigma_{1S(1)} l_1} + E_1(s-r_1)e^{-\beta_{1S(1)} l_1} - E_2 s(1-r_2)\}(2s)^{-1},$$

$$W_L = 0{,}5\Theta_L[(1+g)e^{\sigma_s l} + (1-g)e^{-\sigma_s l}] - 0.5E_s[(r_s-1)e^{\sigma_s l} - (r_s+1)e^{-\sigma_s l}] - E_s e^{-\beta_s l} + E_b.$$

Для решения системы четырех дифференциальных уравнений второго порядка необходимы восемь граничных условий. Это условия непрерывности температур и потоков тепла на границах между слоями и отсутствие нагрева торцов подложки и газового слоя, которые имеют следующий вид:

$$\Phi_{1Ns(1)}(\omega,0) = \Phi_{1Ng}(\omega,0),\ \Phi_{1Nb}(\omega,-l_1-l_2) = \Phi_{1Ns(2)}(\omega,-l_1-l_2),\ \Phi_{1Ns(1)}(\omega,-l_1) = \Phi_{1Ns(2)}(\omega,-l_1),$$

$$\left\{\frac{\partial\Psi_{1g}(\omega,x)}{\partial x}\right\}\Bigg|_{x=0} = \frac{\kappa_s^{(0)}}{\kappa_g^{(0)}}\frac{\partial\Psi_{1s}(\omega,x)}{\partial x}\Bigg|_{x=0},\ \frac{\partial\Psi_{1Ns(1)}(\omega,x)}{\partial x}\Bigg|_{x=-l} = \frac{\kappa_{s(2)}^{(0)}}{\kappa_{s(1)}^{(0)}}\frac{\partial\Psi_{1Ns(2)}(\omega,x)}{\partial x}\Bigg|_{x=-l},$$

$$\Phi_{1Nb}(\omega,-l_1-l_2-l_b) = \Phi_{1Ng}(\omega,l_g) = 0,\ \frac{\partial\Psi_{1Nb}(\omega,x)}{\partial x}\Bigg|_{x=-(l_1+l_2)} = \frac{\kappa_s^{(0)}}{\kappa_b^{(0)}}\frac{\partial\Psi_{1Ns}(\omega,x)}{\partial x}\Bigg|_{x=-(l_1+l_2)}.$$

Принимая во внимание, что $\Phi_L(t,x) = \Phi_L(\omega,x)\exp(i\omega t)$, положим $\Phi_{1Ni}\ (t,x) = \Phi_{1Ni}(\omega,x)\exp(i\omega t)$. Тогда, используя обозначение $g_{0i}(x) = \delta_{2i}T_{0i}(x)$, для функции $\Psi_{1i}(\omega,x) = \Phi_{1Ni}(\omega,x) + g_{0i}(x)\Phi_{Li}(\omega,x)$ из (1)- (4) получим следующее уравнение:

$$\frac{d^2\Psi_{1N(g)}}{dx^2} - \sigma_{1(g)}^2\Psi_{1N(g)} = \sigma_{1(g)}^2(\delta_g - \delta_{2g})T_{0(g)}(x)\Phi_{L(g)}(\omega,x), \tag{10}$$

$$\begin{aligned}&\frac{d^2\Psi_{1NS(1)}}{dx^2} - \sigma_{1S(1)}^2\Psi_{1NS(1)} = \\ &= \sigma_{1S(1)}^2(\delta_{S(1)} - \delta_{2S(1)})T_{0S(1)}(x)\Phi_{LS(1)}(\omega,x) - B_1[\Theta_0 + \Phi_{LS(1)}(\omega,0)]e^{\beta_1 x}\end{aligned}, \tag{11}$$

$$\begin{aligned}&\frac{d^2\Psi_{1NS(2)}}{dx^2} - \sigma_{1S(2)}^2\Psi_{1NS(2)} = \\ &= \sigma_{1S(2)}^2(\delta_{S(2)} - \delta_{2S(2)})T_{0S(2)}(x)\Phi_{LS(2)}(\omega,x) - B_2[W_{01} + \Phi_{LS(2)}(\omega,-l_{(1)})]e^{\beta_2(x+l_1)}\end{aligned}, \tag{12}$$

$$\begin{aligned}&\frac{d^2\Psi_{1N(b)}}{dx^2} - \sigma_{1(b)}^2\Psi_{1N(b)} = \sigma_{1(b)}^2(\delta_b - \delta_{2b})T_{0(b)}(x)\Phi_{L(b)}(\omega,x) - \\ &- B_3[W_{02}e^{i\omega t} + \Phi_{Lb}(-l_1-l_2,\omega)]e^{\beta_b(x+l_1+l_2)}\end{aligned}, \tag{13}$$

где $B_1 = \dfrac{I_0 A_{S(1)}^{(0)}\beta_1\delta_{3S(1)}}{2k_{S(1)}^{(0)}}$, $B_2 = \dfrac{I_0 A_{S(2)}^{(0)}(1-R_{S(1)}^{(0)})\beta_2\delta_{3S(2)}e^{-\beta_1 l_1}}{2k_{S(2)}^{(0)}}$, $B_3 = \dfrac{\beta_b I_2 A_b^{(0)}\delta_{3b}e^{\beta_b(x+l_1+l_2)}}{2\kappa_b^{(0)}}$.

Решая систему неоднородных уравнений (11)-(13) методом вариации постоянных, получим

$$\Psi_{1Ng} = \Theta_{1Ng} e^{-\sigma_{1g} x} + R_{1g} S_{1g}(x) e^{\sigma_{1g} x} - R_{1g} S_{2g}(x) e^{-\sigma_{1g} x} \ , \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{1NS(1)} &= U_{N1} e^{\sigma_{1S(1)} x} + V_{N1} e^{-\sigma_{1S(1)} x} + \\ &+ [R_{S(1)} S_{1S(1)}(x) - \Omega_{1S(1)}(x)] e^{\sigma_{1S(1)} x} - [R_{S(1)} S_{2S(1)}(x) - \Omega_{2S(1)}(x)] e^{-\sigma_{1S(1)} x} \end{aligned} \ , \tag{15}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{1NS(2)} &= U_{N2} e^{\sigma_{1S(1)}(x+l_1)} + V_{N2} e^{-\sigma_{1S(1)}(x+l_1)} + \\ &+ [R_{S(2)} S_{1S(2)}(x) - \Omega_{1S(2)}(x)] e^{\sigma_{1S(1)}(x+l_1)} - [R_{S(2)} S_{2S(2)}(x) - \Omega_{2S(2)}(x)] e^{-\sigma_{1S(1)}(x+l_1)} \end{aligned} , \tag{16}$$

$$\Psi_{1Nb} = W_{1Nb} e^{\sigma_{1b}(x+l_1+l_2)} + [R_{1b} S_{1b}(x) - M_{1b}(x)] e^{\sigma_b(x+l_1+l_2)} - [R_{1b} S_{2b}(x) - M_{2b}(x)] e^{-\sigma_b(x+l_1+l_2)} \ . \tag{17}$$

Вид функций $S_{1g}(x)$, $S_{2g}(x)$, $S_{1S(1)}(x)$, $S_{2S(1)}(x)$, $S_{1S(2)}(x)$, $S_{2S(2)}(x)$, $S_{1b}(x)$, $S_{2b}(x)$, $\Omega_{1S(1)}(x)$, $\Omega_{2S(1)}(x)$, $\Omega_{1S(2)}(x)$, $\Omega_{2S(2)}(x)$ определяются следующими выражениями:

$$R_{1i} = 0{,}5\delta_{2i}^{-1}\sigma_{1i}(\delta_i - \delta_{2i}) \ ,$$

$$S_{1g}(x) = \int g_{0g}(x)\Phi_{Lg}(\omega, x) e^{-\sigma_g x} dx \ , \quad S_{2g}(x) = \int g_{0g}(x)\Phi_{Lg}(\omega, x) e^{\sigma_{gi} x} dx \ ,$$

$$S_{1S(1)}(x) = \int g_{0S(1)}(x)\Phi_{LS(1)}(\omega, x) e^{-\sigma_{1S(1)} x} dx \ , \quad S_{2S(1)}(x) = \int g_{0S(1)}(x)\Phi_{LS(1)}(\omega, x) e^{\sigma_{1S(1)} x} dx \ ,$$

$$S_{1S(2)}(x) = \int g_{0S(2)}(x)\Phi_{LS(2)}(\omega, x) e^{-\sigma_{1S(2)}(x+l_1)} dx \ , \quad S_{2S(2)}(x) = \int g_{0S(2)}(x)\Phi_{LS(2)}(\omega, x) e^{\sigma_{1S(2)}(x+l_1)} dx \ ,$$

$$S_{1b}(x) = \int g_{0b}(x)\Phi_{Lb}(\omega, x) e^{-\sigma_b(x+l_1+l_2)} dx \ , \quad S_{2b}(x) = \int g_{0b}(x)\Phi_{Lb}(\omega, x) e^{\sigma_b(x+l_1+l_2)} dx \ ,$$

$$\Omega_{1S(1)}(x) = 0.5 B_1 \sigma_{1s(1)}^{-1} \int e^{(\beta_1 - \sigma_{1S(1)})x} [\Theta_0 + \Phi_{LS(1)}(\omega, 0)] dx \ , \ \Omega_{2S(1)}(x) = 0.5 B_1 \sigma_{1s(1)}^{-1} \int e^{(\beta_1 + \sigma_{1S(1)})x} [\Theta_0 + \Phi_{LS(1)}(\omega, 0)] dx \ ,$$

$$\Omega_{1S(2)}(x) = 0.5 B_2 \sigma_{1s(2)}^{-1} \int e^{(\beta_2 - \sigma_{1S(2)})(x+l_1)} [W_{01} + \Phi_{LS(2)}(\omega, -l_1)] dx \ , \ \Omega_{2S(2)}(x) = 0.5 B_2 \sigma_{1s(2)}^{-1} \int e^{(\beta_2 + \sigma_{1S(2)})(x+l_1)} [W_{01} + \Phi_{LS(2)}(\omega, -l_1)] dx \ ,$$

$$M_{1b}(x) = 0.5 B_3 \sigma_b^{-1} \int e^{(\beta_b - \sigma_b)(x+l_1+l_2)} [W_{02} + \Phi_{Lb}(\omega, -l_1 - l_2)] dx \ , \ M_{2b}(x) = 0.5 B_3 \sigma_b^{-1} \int e^{(\beta_b + \sigma_b)(x+l_1+l_2)} [W_{02} + \Phi_{Lb}(\omega, -l_1 - l_2)] dx \ .$$

Для нахождения комплексных амплитуд Θ_{1Ng}, W_{1Nb}, U_{N1}, V_{N1}, U_{N2} и V_{N2} используем выше приведёнными граничные условиями и будем иметь систему линейных алгебраических уравнений для этих величин, решение которого позволит получить следующее выражение для Θ_{1Ng}:

$$\begin{aligned} \Theta_{1Ng} &= R_{1g}[S_{2g}(0) - S_{1g}(0)] - [g_{0S(1)}(0)\Phi_{LS(1)}(\omega, 0) - g_{0g}(0)\Phi_{Lg}(\omega, 0)] + \frac{2\Xi_1}{\Xi}\{[R_{S(1)} S_{1S(1)}(0) - \Omega_{1S(1)}(0)] - \\ &- [R_{S(1)} S_{1S(1)}(-l_1) - \Omega_{1S(1)}(-l_1)]\} - \frac{2\Xi_2}{\Xi}\{[R_{S(1)} S_{2S(1)}(0) - \Omega_{2S(1)}(0)] - [R_{S(1)} S_{2S(1)}(-l_1) - \Omega_{2S(1)}(-l_1)]\} + \\ &- \frac{2\Xi_3}{\Xi}[g_{0S(2)}(-l_1)\Phi_{LS(2)}(\omega, -l_1) - g_{0S(1)}(-l_1)\Phi_{LS(1)}(\omega, -l_1)] + \frac{4\Xi_4}{\Xi}\{[R_{S(2)} S_{1S(2)}(-l_1) - \Omega_{1S(2)}(-l_1)] - \\ &- [R_{S(2)} S_{1S(2)}(-l_1 - l_2) - \Omega_{1S(2)}(-l_1 - l_2)]\} + \frac{4\Xi_5}{\Xi}\{[R_{S(2)} S_{2S(2)}(-l_1) - \Omega_{2S(2)}(-l_1)] - [R_{S(2)} S_{2S(2)}(-l_1 - l_2) - \Omega_{2S(2)}(-l_1 - l_2)]\} + \\ &+ 8b\Xi^{-1}[R_{1b} S_{2b}(-l_1 - l_2) - M_{2b}(-l_1 - l_2)] - 4b[g_{0S(2)}(-l_1 - l_2)\Phi_{LS(2)}(\omega, -l_1 - l_2) - g_{0b}(-l_1 - l_2)\Phi_{Lb}(\omega, -l_1 - l_2)] \end{aligned} \tag{18}$$

В выражение (18) использованы следующие обозначения:

$$\Xi = e^{-\sigma_{1S(2)} l_2}(1-b)[e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}(1+s) + e^{\sigma_{1S(1)} l_1}(1-s)] - e^{\sigma_{1S(2)} l_2}(1+b)[e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}(1-s) + e^{\sigma_{1S(1)} l_1}(1+s)] \ ,$$

$$\Xi_1 = e^{-\sigma_{1S(2)} l_2}(1-b) e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}(1+s) - e^{\sigma_{1S(2)} l_2}(1+b) e^{-\sigma_{1S(1)} l_1}(1-s) \ , \ \Xi_3 = e^{-\sigma_{1S(2)} l_2}(1-b) - e^{\sigma_{1S(2)} l_2}(1+b)$$

$$\Xi_2 = e^{-\sigma_{1S(2)} l_2}(1-b) e^{\sigma_{1S(1)} l_1}(1-s) - e^{\sigma_{1S(2)} l_2}(1+b) e^{\sigma_{1S(1)} l_1}(1+s) \ , \ \Xi_5 = e^{\sigma_{1S(2)} l_2}(1+b) \ , \ \Xi_4 = e^{-\sigma_{1S(2)} l_2}(1-b) \ .$$

Для рассматриваемого случая нелинейная составляющая колебания температуры на ОГ в газовом слое $\Phi_{1Ng}(\omega,x)$ определяется выражением

$$\Phi_{1Ng}(\omega,x)=[\Theta_{1Ng}-R_{1g}S_{2g}(x)-\Theta_L g_{0g}(x)]\exp(-\sigma_g x)+R_{1g}S_{1g}(x)\exp(\sigma_g x). \quad (19)$$

Тогда нелинейный ФА–сигнал, регистрируемый микрофоном через буферный газ, будет определяться выражением

$$\delta p_{1N}(\omega)=\frac{\gamma p_0 2\pi\mu_g}{T_{00}l_g}\overline{\Phi}_{1Ng}(\omega)=\frac{\gamma p_0}{T_{00}l_g}\int_0^{2\pi\mu_{2g}}\Phi_{1Ng}(\omega,x)dx. \quad (20)$$

В дальнейшем нами рассмотрен случай, когда оба слоя образца являются прозрачными ($\beta_1=\beta_2=0.$) и термически тонкими, для которых справедливо $l_s<<\mu_s$, $l_s<<\mu_{2s}$, $\exp(\pm\sigma_s l)\approx 1$, $\exp(\pm\sigma_{2s}l)\approx 1$. Также принималось во внимание то, что поглощающая подложка имеет две характерные длины: $\mu_{\beta b}=\beta_b^{-1}$ - длина пробега фотона и μ_b - длина тепловой диффузии и, в зависимости от соотношения между этими величинами, в эксперименте может реализоваться два существенно различных случая. Нами получены искомые выражения для $\delta p_{1N}(\omega)$, соответствующие этим случаям.

Список литературы

1. Салихов Т.Х., Мадвалиев У., Шарифов Д.М., Туйчиев Х.Ш. Влияние теплофизических свойств подложки на характеристики нелинейного фотоакустического сигнала непрозрачных сред. Журнал Прикладной Спектроскопии, 2019, т.86, № 6, с.908-916.

2 Салихов Т.Х., Рахими Ф., Махмалатиф А., Шарифов Д.М.. Вклад температурной зависимости оптического коэффициента поглощения образца на формирование теплового поля в фотоакустической камере.Теплофизика и аэромеханика, 2019, Т.26, № 6. С. 963-968.

3. Салихов Т.Х., Меликхуджа Н., Ходжаев Ю.П. К теории генерации фотоакустического сигнала двухслойными твердотельными образцами. - Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2018, №1, с.137-141.

4. Салихов Т.Х., Меликхуджа Н., Махмалатиф А. Генерация фотоакустического сигнала двухслойными прозрачными образцами с поглощающей подложкой. - Письма в журнал технической физики. -2019.- Т.45, №9, С.30-31.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХЛОПКОВЫХ ВОЛОКОН С ВОДОЙ И УКСУСНОЙ КИСЛОТОЙ МЕТОДОМ ЭПР СПИНОВЫХ МЕТОК

Исломов С., Лихтейнштейн Г.И., Марупов Р.М.

Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрава

В процессе производства полимерный материал подвергается различным физико-химическим воздействиям с целю направленного изменения структуры, получения качественных изделий. К подобным физико-химическим воздействиям в технологии

производства целлюлозы и её производных относится очистка от примесей, этерификация, отделка, мерсеризация, пластификация и ориентационная вытяжка полимера [1].

Эти технологические процессы сопровождаются взаимодействием целлюлозы с различными химическими реагентами. Основными реагентами при этом являются водный раствор едкого натрия, сероуглерод, растворы минеральных кислот, растворы сернистого натрия или сульфита натрия, гипохлорит, перекись водорода, хлорит натрия, уксусный ангидрид, ледяная уксусная кислота (при очистке целлюлозы от примесей и её мерсеризации; получение вискозных, медно-аммиачных и ацетатных волокон), вода, глицерин, диэтиленгликоль, мочевина, лактат кальция (при пластификации) [1,2].

В связи с этим крайне важно иметь представление о взаимозависимости между физико-химическими воздействиями в процессе формирования структур, строением макромолекул, внутри и межмолекулярными взаимодействиями, обусловливающими надмолекулярную структуру полимера. Другими слова, количественная оценка микроструктуры полимеров (средние отличительные признаки и свойства некоторого ансамбля отдельных изолированных реальных молекул) в процессе различных физико-химических воздействиях на них выдвигается в ряд центральных проблем исследования [3].

В исследовании микроструктуры макромолекул наряду с методами ИК-спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света, ЯМР высокого разрешения и другими методами широкое применение нашел метод ЭПР спиновой метки [4-6].

В настоящей работе методом ЭПР спиновой метки исследована взаимодействия хлопковых волокон сорта 4-42 с водой и уксусной кислотой.

Хлопковые волокна сорта 4-42 модифицировали пятичленной цианурхлоридной спиновой меткой. Способ введения метки в матрицу целлюлозы, подготовка образцов к исследованию, условия регистрации спектров электронного парамагнитного резонанса описаны в [7-8].

Исследование механических свойств волокон проводили при температуре 25^0С с постоянной скоростью возрастания нагрузки в образце на прибора Журкова [9]. Образцы для испытания на прочность подготавливались с помощью прибора Жукова в виде ленточек определенного веса (0,5 мг) с длиной рабочей части 10 мм [10]. Каждое значение прочности волокон является средним значением из не менее десяти испытаний. Образцы для экспериментов по температурной зависимости спектров ЭПР пластифицировали водой и уксусной кислотой в количестве 50% от сухой массы образца.

Таблица 1.
Механическая прочность хлопковых волокон сорта 4-42 в сухом и пластифицированном водой и уксусной кислотой состоянии

Образец	Прочность, $\frac{Н}{мм^2}$	Прочность в % от прочности в сухом состоянии
Сухие волокна	314±26	-
Волокна, пластифицированные водой	372±21	118
Волокна, пластифицированные уксусной кислотой	223±23	71

Результаты механической прочности волокон приведены в таблице 1. Как видно из представленных данных, при пластификации хлопковых волокон водой их прочность возрастает на 18% по сравнению с сухими волокнами. При пластификации волокон

уксусной кислотой наблюдается противоположный эффект, т.е. их прочность уменьшается на 29%.

В работе [11] относительно причины этого факта, отмечается, что при действии органических реагентов происходит вытеснение влаги из волокна, так как в отличие от вискозного волокна хлопковое волокно в мокром состоянии обладает (благодаря особенностям морфологической структуры) более высокой прочностью.

На рис. 1. представлены спектры ЭПР хлопковых волокон в сухом состоянии и в среде воды и ледяной уксусной кислотой (50% от сухой массы образца). На рис. 2 приведены температурные зависимости параметра расстояния между внешними экстремумами спектров ЭПР $2A_{zz}$. В работе [12] установлено, что по температурной зависимости $2A_{zz}$ можно оценить пластифицирующей способности пластификаторов. Анализ этих кривых показывает, что в области температур ≥25°С температурная зависимость параметра $2A_{zz}$ образцов хлопковых волокон, пластифицированных водой и уксусной кислотой имеют практически одинаковую скорость изменения с возрастанием температуры, причем эта скорость заметно больше по сравнению с сухим образцом. По-видимому, увеличения прочности хлопковых волокон, пластифицированных водой можно объяснить пластифицирующим действием воды, которое приводит к более равномерному распределению нагрузки между макромолекулами в испытуемых волокнах. Механизм уменьшения прочности хлопковых волокон, пластифицированных уксусной кислотой рассматривается ниже.

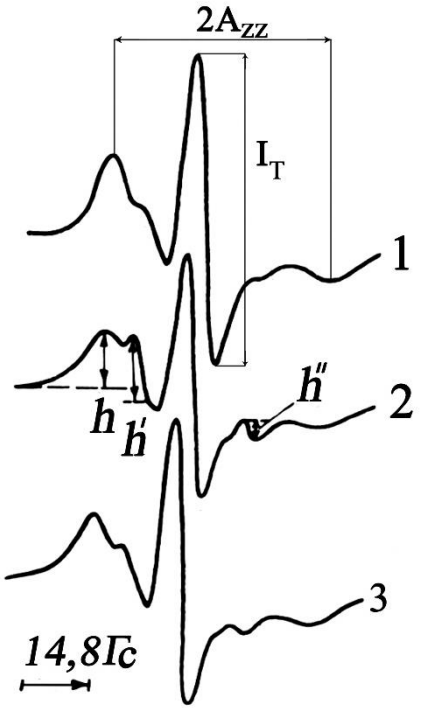


Рис.1. Спектры ЭПР спин-меченых хлопковых волокон в сухом состоянии (1) и в среде воды (2) и уксусной кислоте (3) при температуре 60°С.

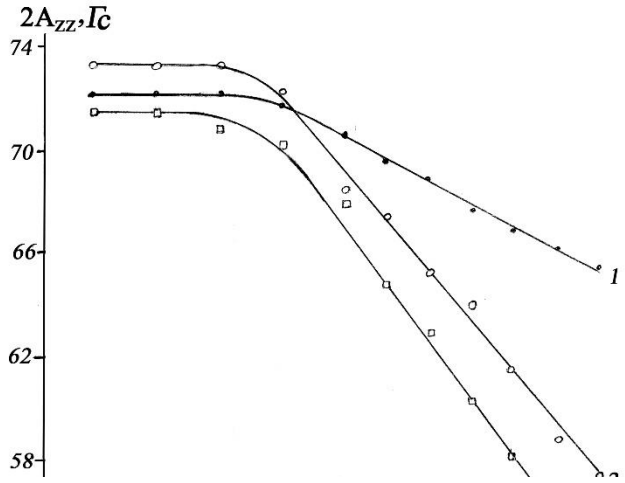


Рис.2. Температурная зависимость параметра $2A_{ZZ}$ спектров ЭПР спин-меченых образцов хлопкового волокна в сухом состоянии (1) и в среде воды (2) и уксусной кислоте (3)

Согласно современной кинетической теории разрушения твердых тел в разрушении полимеров большой вклад имеют дефектные области, в которых происходит интенсивное молекулярное движение [13]. На этой основе можно предположить, что уменьшение механической прочности хлопковых волокон, пластифицированных уксусной кислотой вероятно связано с тем, что под

воздействием уксусной кислоты в волокнах число дефектных участков макромолекул увеличивается.

Как установлено в работе [4] относительная доля дефектных областей внутри которых совершается быстрое молекулярное движение с временем корреляции $\tau_c \leq 10^{-8}$с описывается эмпирическим параметром h'/h

Таблица 2

Относительная доля быстровращающих спин-меток h'/h хлопковых волокон сорта 4-42 при различной температуре

Температура, °С	h'/h	
	Волокна, пластифицированные водой	Волокна, пластифицированные уксусной кислотой
60	1,09	1,12
80	1,26	1,26
100	1,53	1,41
120	1,72	1,64

Как видно из данных, приведенных в таблице 2 во всем диапазоне изменения температуры от 60 до 120°С хлопковые волокна, пластифицированные водой и уксусной кислотой имеют практически равное количество долей рыхлой фазы (структурных дефектов). Этот результат свидетельствует о том, что уменьшение прочности хлопковых волокон при обработке уксусной кислотой не связано с дефектами структуры, так как при одном и том, же количестве рыхлой фазы прочность хлопковых волокон, пластифицированных водой повышается.

В ходе экспериментов по температурной зависимости спектров ЭПР трех исследованных образцов хлопковых волокон, наше внимание привлекла на первый взгляд неважная деталь: величина сигналов ЭПР спин-меток хлопковых волокон, пластифицированных уксусной кислотой в области температур $\geq 60^{o}$С постепенно уменьшались в интенсивности, чего не наблюдается для других исследованных образцов.

На рис. 3. представлены результаты, характеризующие стабильность сигнала ЭПР спин-меток сухих и пластифицированных водой и уксусной кислотой хлопковых волокон в интервале температур от 40 до 120°С, где I_o – интенсивность (высота пика) центральной компоненты спектра ЭПР спиновых меток при температуре 40°С, I_T - интенсивность центральной компоненты спектра ЭПР спиновых меток при температуре опыта $T \geq 60^{o}C$, $\frac{I_T}{I_o} \cdot 100\%$ - относительная интенсивность сигналов ЭПР спиновых меток при температурах от 60 до 120°С. Как видно из рисунка интенсивность

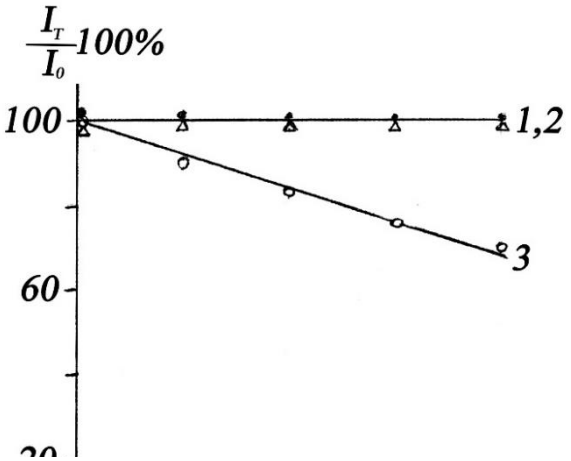


Рис.3. Температурная зависимость относительной интенсивности сигналов ЭПР $\frac{I_T}{I_o} \cdot 100\%$ спин-меченых хлопковых волокон в сухом состоянии (1) и в среде воды (2) и уксусной кислоте (3)

сигнала ЭПР спин-меток сухих и пластифицированных водой хлопковых волокон в интервале температур 40-120°С не изменяется. Что касается волокон, пластифицированных уксусной кислотой интенсивность сигнала ЭПР спин-меток в области температур $\geq 60^{o}C$ линейно падает и при температуре 120°С составляет 70% от её величины при 40° С.

Согласно литературным данным нитроксильные радикалы, введенные в полимерах стабильны в области температур 150-180°С. В чистых растворителях, в которых реакция отрыва атома водорода нитроксильным радикалом затруднена и взаимодействия с другими активными центрами не происходит нитроксильные радикалы стабильны до температуры 200-220°С [6]. Поэтому можно считать, что под воздействием уксусной кислоты происходит деструкция макромолекул хлопковых волокон, в результате которого образуется свободные радикалы $\dot{R}$, вызывающие гибель спин-меток по следующей реакции [14]:

$$> N - \dot{O} + \dot{R} \rightarrow N - O - R$$

Таким образом, взаимодействие хлопковых волокон с уксусной кислотой приводит к разрушению их надмолекулярной структуры с образованием свободных радикалов, что станет причиной уменьшения их механической прочности.

Работа выполнена в Физико – техническом институте имени С.У. Умарова национальной академии наук Таджикистана.

Литература

1. Садов Ф.И., Корчагин М.В., Матецкий А.И. Химическая технология волокнистых материалов. М.: Легкая индустрия, 1968 – 782 с.
2. Папков С.П., Файнберг Э.З. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М.: Химия, 1976.-231 с.
3. Рот Г.К., Келлер Ф., Шнайдер Х. Радиоспкетроскопия полимеров. М.: Мир, 1987.-380с.
4. Лихтенштейн Г.И. Метод спиновой метки в молекулярной биологии. М.: Наука, 1974.-256с.
5. Метод спиновых меток. Теория и применение. Под.ред. Л.Берлинера. М.: Мир, 1979.-639с.
6. Вассерман А.М., Коварский А.Л. Спиновые метки и зонды в физикохимии полимеров. М.: Наука, 1986.-244с.
7. Юсупов И.Х., Бободжанов П.Х., Марупов Р. и др. //Высокомол. соед., 1984, Т.26(А), №2, с.369-373.
8. Исломов С., Бободжанов П.Х., Марупов Р. и др. //Cell. Chem. and Tech., 1986, V.20, №3, P.277-278.
9. Журков С.Н., Абасов С.А. Температурная и временная зависимость прочности полимерных волокон //Высомол. соед., 1961, Т-3, №3, с.441-449.
10. Немченко Э.А., Новиков Н.А., Новиков С.А., Филиновская Е.Ф. Свойства химических волокон и методы их определения. М.: Химия, 1973.-215 с.
11. Роговин З.А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972.-519с.
12. Исломов С., Марупов Р., Лихтенштейн Г.И. //Cell. Chem. and Tech., 1989, V.23, №1, P.13-21.
13. Регель В.Р. Слуцкер А.И. Томашевский Е.А. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. -560с.
14. Кузнецов А.Н. Метод спинового зонда. М.: Наука, 1976.-209с.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛЬНОПОЛЯРНОГО НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОЧАСТОТ

У.М. Маллабоев*, Р.М. Умурзоков**, А.Р. Умурзоков ***,
** Тюменский индустриальный университет. Тобольский индустриальный институт*
*** Московский открытый институт*
**** Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*
E-mail: mallaboevu@tyuiu.ru

Физические свойства конденсированных сред, кинетика физических и физико-химических процессов, происходящих в этих веществах, а также их тип в основном определяются межмолекулярным взаимодействием. Для получения достоверной информации о характере межмолекулярных взаимодействий необходимо проводить разносторонние исследования объектов – диэлектрическая и ультразвуковая спектроскопия, рентгеноструктурный анализ и т.д. В этом отношении приоритетным является диэлектрическая спектроскопия, поскольку экспериментальные результаты по диэлектрическим свойствам веществ дают непосредственную информацию о подвижности молекул, их межмолекулярном взаимодействии и молекулярных механизмах диэлектрической поляризации.

При экспериментальном исследовании диэлектрических характеристик жидких кристаллов (ЖК) важное значение имеет ширина частотного диапазона электрического поля. Это связано с тем, что определение диэлектрических постоянных в области дисперсии позволяет достаточно полно изучать молекулярные механизмы ориентационной поляризации в различных направлениях оптической оси в мезофазе и в изотропно-жидкой фазе. С практической точки зрения, это дает возможность синтезировать новые жидкокристаллические вещества с необходимыми физическими параметрами и целенаправленно использовать их в технических устройствах.

Хотя экспериментальному изучению статической диэлектрической анизотропии, дисперсии $\varepsilon'_{\parallel}$ и $\varepsilon'_{\perp}$, посвящено значительное число работ [1, 2, 3], тем не менее, мы считаем, что является актуальным количественное исследование равновесной диэлектрической поляризации и релаксации комплексных значений диэлектрических проницаемостей ЖК в широком диапазоне радиочастот, а также их электропроводности. В связи с этим настоящая работа посвящена достаточно подробному экспериментальному исследованию дисперсии $\varepsilon'_{\parallel}$ и $\varepsilon'_{\perp}$, их влиянию на величину и знак $\Delta\varepsilon$, а также количественному изучению дисперсии в изотропной фазе ε_{is} (число работ весьма ограничено) жидкокристаллического вещества с сильнополярными молекулами в широком диапазоне радиочастот.

В настоящей работе проведены исследования электропроводности и комплексных диэлектрических свойств сильнополярного нематического жидкого кристалла, 4–цианофениловый эфир 4'–н–октилоксибензойной кислоты образующего нематическую фазу в области температур 72,0 – 85,5 °С, в широком диапазоне частот электрического поля. Были изучены электропроводность σ и радиочастотные зависимости диэлектрических проницаемостей, в первую очередь $(\varepsilon_{\parallel})_{в}$, $\varepsilon_{\perp}$ и ε_{is}, и релаксационные процессы, а также вычислены времена релаксации τ и энергии активации дипольной поляризации. Низкочастотная дисперсия диэлектрической проницаемости данного ЖК в диапазоне частот (10-10^5) Гц исследовалась ранее, результаты приведены в работе [4].

Разработанная нами методика и сконструированная измерительная ячейка [5], вполне отвечают требованиям для измерения электропроводности и диэлектрических свойств жидких кристаллов в мезофазе и изотропно-жидкой фазе в широком диапазоне радиочастот.

По экспериментальным данным нами были рассчитаны значения электропроводности для исследованного ЖК вещества в направлении, параллельном оптической оси ($\sigma_{\parallel}$) при частоте перехода из диэлектрического в проводящий режим (f_k) в мезофазе: при 74,0 °С, $\sigma_{\parallel}$ = 4,1·10^{-9} См/м и при 80,0 °С, $\sigma_{\parallel}$ = 8,25·10^{-9} См/м.

Исследования дисперсии диэлектрической проницаемости ЖК в нематической и изотропной фазах показало, что действительная и мнимая составляющие диэлектрической проницаемости имеют достаточно сложные зависимости, как от частоты, так и температуры. В качестве примера на рис. 1 приведены функциональные зависимости действительных ($\varepsilon'_{\parallel}$, $\varepsilon'_{\perp}$, ε'_{is}) значений главных диэлектрических проницаемостей ЖК от частоты *f*, полученные для одной из температур в нематической и изотропной фазах. Полученные результаты наглядно иллюстрируют, что в области радиочастот наблюдается сильная дисперсия всех главных значений диэлектрической проницаемости вещества. На средних частотах ($\omega\tau < 1$) диэлектрическая проницаемость ε' стремится к равновесному значению, то есть практически не зависит от частоты и близка к своему максимальному значению, которое имеет место при постоянной напряженности электрического поля. Кроме этого, видно, что из-за сильной дисперсии $\varepsilon'_{\parallel}$, в области частот ($10^6 - 10^7$) Гц происходит изменение знака диэлектрической анизотропии $\Delta\varepsilon$.

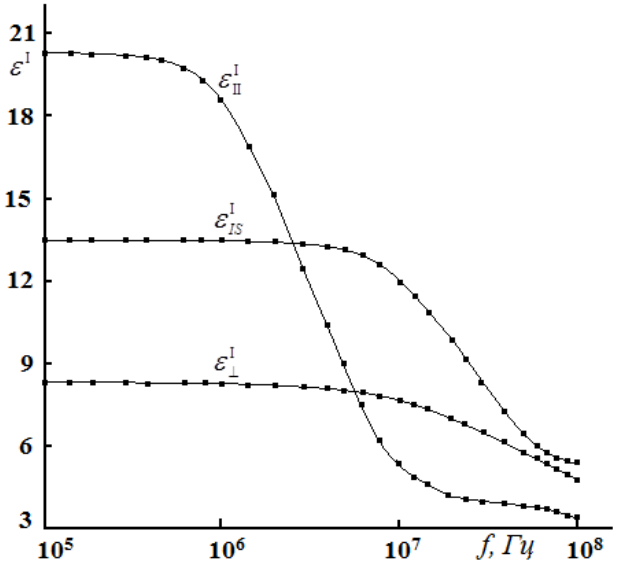


Рис. 1. Частотные зависимости ε' ЖК в нематической и изотропной фазах при температурах: $\varepsilon_{\parallel}$ и $\varepsilon_{\perp}$ – 73 °С, ε_{is} – 86 °С

Экспериментальные результаты по диэлектрическим потерям $\varepsilon''_{\parallel}$, $\varepsilon''_{\perp}$, ε''_{is} показывают, что в области дисперсии для них наблюдаются ярко выраженные максимумы.

Для выявления молекулярных механизмов диэлектрической поляризации в нематической и изотропной фаз ЖК по экспериментальным значениям действительных $\varepsilon'_{\parallel}$, $\varepsilon'_{\perp}$, ε'_{is} и мнимых $\varepsilon''_{\parallel}$, $\varepsilon''_{\perp}$, ε''_{is} частей комплексных диэлектрических проницаемостей $\varepsilon^*_{\parallel}$, $\varepsilon^*_{\perp}$ и ε^*_{is} были построены диаграммы Коул–Коула (рис. 2).

Из приведенных кривых видно, что в диапазоне частот ($10^5 \div 10^8$) Гц релаксации $\varepsilon'_{\parallel}$ и ε'_{is} достаточно хорошо описываются уравнением Дебая [6, 7], с одним временем дипольной релаксации *τ*. Однако для $\varepsilon^*_{\parallel}$ в частотном диапазоне ($10^7 \div 10^8$) Гц наблюдается отклонение от дебаевских диаграмм (рис. 2). Здесь диэлектрическая проницаемость $\varepsilon^*_{\parallel}$, в отличии от $\varepsilon^*_{\perp}$, испытывает сильную дисперсию, причем числовое значение $\varepsilon'_{\parallel}$ приближается квадрату показателя преломления (n^2) ЖК. Это означает, что дисперсия $\varepsilon^*_{\parallel}$ сопровождается практически полным исключением дипольных механизмов из диэлектрической поляризации исследованного образца. В то же

время из представленных диаграмм следует, что за дисперсию $\varepsilon_{\parallel}^{*}$ ответственны два молекулярных механизма (низкочастотной и высокочастотной), причем времена релаксации соответствующие этим механизмам можно определить.

Для нахождения времен релаксации и анализа экспериментальных данных нами были построены при разных температурах зависимости $\varepsilon_{\parallel}'$ как функции $2\pi f \cdot \varepsilon_{\parallel}''$. В соответствии с методом, изложенным в работе [8], если времена релаксации существенно отличаются друг от друга или имеется только одно время релаксации, то такую зависимость можно представить линейной функцией

$$\varepsilon' = \varepsilon_0 - \tau(2\pi f\ \varepsilon''),$$

где ε_0 – равновесное значение диэлектрической проницаемости, τ – время релаксации. Поскольку наклон прямой задается коэффициентом перед аргументом, то это позволяет рассчитать время релаксации. Значения τ полученные разными методами находятся в очень хорошем согласии.

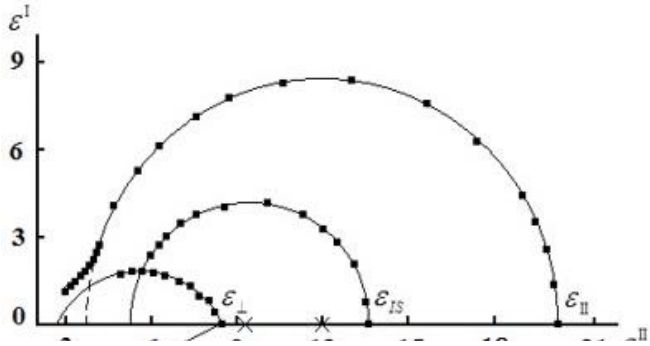


Рис. 2. Диаграммы Коул-Коула в нематической $\varepsilon_{\parallel}, \varepsilon_{\perp}$ и изотропной ε_{is} фазах ЖК при температурах: $\varepsilon_{\parallel}$ и $\varepsilon_{\perp}$ – *73* °C, ε_{is}–86 °C

На рис. 3 приведен зависимость при одной температуры в нематической фазы. Видно, что экспериментальные результаты хорошо ложатся на прямые, которые имеют существенно разные углы наклона. Наклоны экспериментальных прямых позволяют найти времена диэлектрической релаксации τ исследуемого жидкокристаллического вещества. Таким образом, результаты непосредственно иллюстрирует, что релаксация $\varepsilon_{\parallel}'$ может бить охарактеризована двумя дипольными механизмами с существенно отличающимися (примерно на порядок) частотными областями дисперсии диэлектрической проницаемости ($\tau_{\parallel}$ и $(\tau_{\parallel})_{в}$).

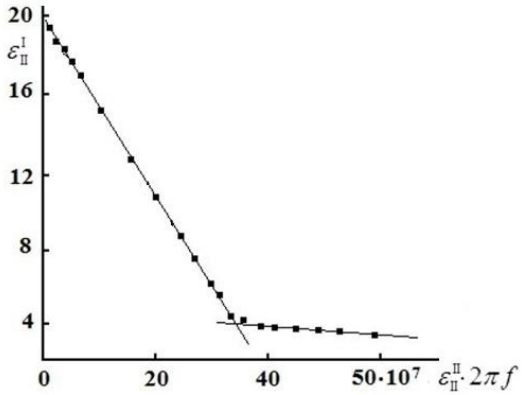


Рис. 3. Зависимости $\varepsilon_{\parallel}'$ от $\varepsilon_{\parallel}'' \cdot 2\pi f$ при температуре *t=73* °C

Анализ диаграммам Коул–Коула (рис. 2) для диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\perp}^{*}$ показывает, что функциональная взаимосвязь между $\varepsilon_{\perp}'$ и $\varepsilon_{\perp}''$ не описывается уравнением Дебая. Вероятно, это связано с тем, что дисперсии $\varepsilon_{\perp}'$ соответствует спектр времен релаксации $\tau_{\perp}$ и что ее можно количественно описать уравнением Коул-Коула. [6, 7, 9, 10]. О наличии спектра времен релаксации у диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\perp}^{*}$ также свидетельствуют построенные зависимости $\varepsilon_{\perp}'$ как функции $2\pi f \cdot \varepsilon_{\perp}''$ (рис. 4).

Мы полагаем, что дисперсия перпендикулярной составляющей диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\perp}'$ обусловлена исключением из диэлектрической поляризации дипольных частей, связанных с двумя механизмами, а именно, с вращением молекул по конусу в пределах пространственного угла, допускаемого величиной параметра порядка жидкого кристалла $S < 1$, и с вращением молекул вокруг продольной оси [5].

Причем в сильно полярных НЖК, когда угол между дипольным моментом μ и осью наибольшей поляризуемости молекулы небольшой (β = 10°÷30°), то указанные механизмы вносят близкий по величине вклад в дипольную поляризацию в направлении, перпендикулярном оптической оси жидкого кристалла и проявляются при очень близких или даже перекрывающихся частотах, вследствие чего, не представляется возможным их раздельное экспериментальное изучение.

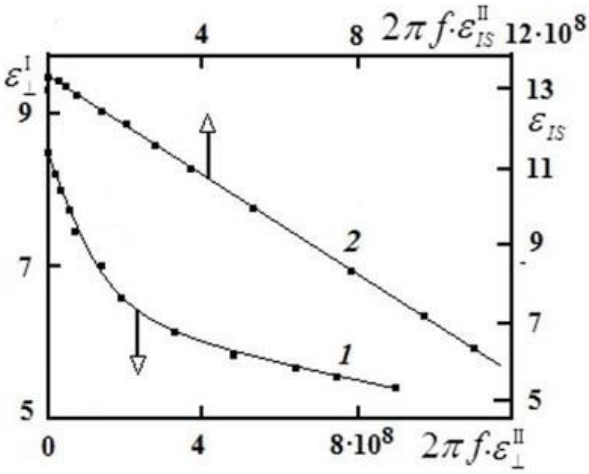


Рис. 4. Зависимости $\varepsilon_{\perp}'$ от $\varepsilon_{\perp}''\cdot 2\pi f$ и ε_{is}' от $\varepsilon_{is}''\cdot 2\pi f$ при температурах t,°C: 1–73; 2–86.

Анализ дисперсии диэлектрической проницаемости в изотропной фазе ε_{is}^{*} показывает, что релаксация ε_{is}' может быть охарактеризована одним дипольным механизмом (рис. 4).

На рис. 5 приведены зависимости времен релаксации в нематической и изотропной фазах для исследованного образца от обратной температуры. Из наклона этих зависимостей определены энергии активации $U_{\parallel} = 79{,}5$ кДж/моль, $(U_{\parallel})_{в} = 27{,}3$ кДж/моль, $U_{\perp} = 30{,}4$ кДж/моль и $U_{is} = 41{,}9$ кДж/моль для вращения мезогенных молекул вокруг различных геометрических осей.

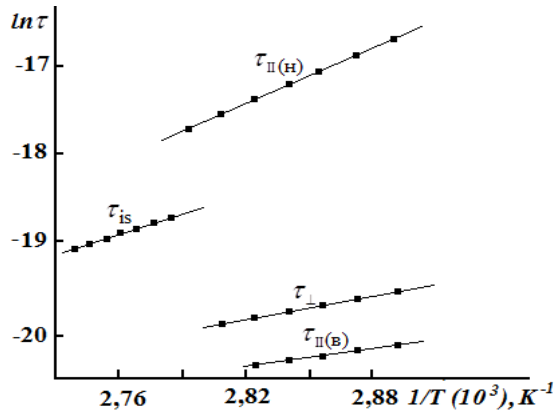


Рис. 5. Зависимости τ от $1/T$ в нематической $\tau_{\parallel}$, $\tau_{\perp}$ и изотропной τ_{is} фазах

По временам релаксации в нематической и изотропной фазах были вычислены так же параметры замедления в направлениях параллельном $g_{\parallel}$ и перпендикулярном $g_{\perp}$ оптической оси ЖК, соответствующие дисперсии главных значений диэлектрических проницаемостей $\varepsilon_{\parallel}'$, $\varepsilon_{\perp}'$, ε_{is}'. Расчеты показали, что $g_{\perp} < 1$, а $g_{\parallel} > 1$.

Это вполне соответствует выводам работы [11], в которой изучались равновесные диэлектрические свойства термотропных жидких кристаллов.

Таким образом, при проведении исследований было установлено, что вращение молекул вокруг короткой оси в мезофазе при дипольной поляризации вещества является более заторможенным по сравнению с вращением молекул в изотропном состоянии. Вращение же полярной молекулы вокруг продольной оси в жидкокристаллическом состоянии происходит значительно легче, чем в изотропно-жидком состоянии.

Список литературы

1. Рюмцев Е.И., Ковшик А.П., Рагимов Д.А., Аббас-заде А.А., Цветков В.Н. Диэлектрическая релаксация растворов жидкокристаллического α-цианстильбена в неполярном жидкокристаллическом растворителе // Доклада академии наук. – 1999.–

Т.366.– № 2.– С.213–215.
2. Ковшик А.П., Рагимов Д.А., Ковшик С.А., Бойко Н.И., Лезов А.В., Рюмцев Е.И. Диэлектрическая релаксация в расплавах карбоксилановых дендримеров с алкилоксицианобифенильными концевыми группами // Журнал физической химии 2003.– Т.77.–№ 6.– С.1041–1045.
3. Druon G., Wacrenier J.M. A study of 4–Nonanoate –4–Cyano–biphenyl using Dielectric Relaxation Method // Mol. Cryst. Liq. Cryst. –1982.–V.88. –P. 99–108.
4. Маллабоев У.М., Новоселов В.И. Влияние сквозной проводимости на низкочастотную диэлектрическую поляризацию жидких кристаллов //Жидк. крист. и их практич. использ. – 2018. – Т.18. – № 1. – С. 24–29.
5. Сабуров Б.С., Маллабоев У.М., Ковшик А.П., Рюмцев Е.И. Молекулярные механизмы дипольной поляризации термотропных жидких кристаллов в радиочастотном диапазоне // ДАН Тадж.ССР. – 1987.– Т.30. – № 2. – С. 99–102.
6. Cole R.H. Theory of dielectric polarization and relaxation//Progress in Dielectrics. –1961.– V.3. –P.49–100.
7. Bottcher C.J. Theory of electric polarization. Amsterdam,1952. – 490p.
8. Cole R.H. On the analysis of dielectric relaxation measurement // J.Chem. Phys.– 1955.– V.23. – N 3. – P. 493–499.
9. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and absorption in dielectrics // J.Chem.Phys.–1941. – V.9. – N 4. – P. 341–351.
10. Cole K.S.,Cole R.H. Dispersion and Absorption in Dielectrics// J.Chem. Phys.–1942. – V.10. – P. 98–105.
11. Цветков В.Н. К теории диэлектрической анизотропии нематических жидких кристаллов // Вестник ЛГУ. – 1970. – N 4. – С. 26–37.

ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕБЛЯ ТРОСТНИКА

Умаров Н.Н., *Абдуманонов А., **Юсупов И.Х., **Абдуллаев С.Ф.
ХГУ им. академика Б. Гафурова, Худжанд, Таджикистан,
**Худжандский научный центр НАНТ*
***Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе, Таджикистан*
E-mail: nasimchon-74@mail.ru,

Известно, что радиационное излучение влияет на формирование молекулярной структуры растений в процессе синтеза биохимических компонентов. Это, очевидно, приводит к изменению состава и физико-химических свойств органических веществ.

В работах [1, 2] исследованы влияния радиации места произрастания на молекулярную динамику растительных природных соединений. Установлено, что по мере роста дозы радиации увеличивается молекулярная динамика гидроксильных групп макромолекул растений.

Большое научно-практическое значение имеет изучение влияния внешних (том числе радиационных) факторов на структуру и прочность полимерных материалов [3-7]. В этом направлении актуальным является исследование структуры и физико-механических свойств биоматериалов, подвергнутых действию радиации [3, 4].

Стебли и листья тростника используются для строительства жилищ, решёток, заборов, а также для плетения циновок, переноски сетей, изготовления корзин, изоляции, топлива, в качестве заменителей пробки и т. д. Стебель тростника содержит около 60-65 процентов целлюлозы и используется при производстве целлюлозы и бумаги [8-10].

Анализ литературы показывает, что влияние дозы радиации на структуру и прочность биоматериалов систематически не изучалось. В работе ставилось целью исследовать влияние дозы радиации на структуру и прочность растительных материалов на примере стебля тростника обыкновенного (лат. *Phragmites communis).* Априори, можно полагать, что гамма излучения разрушает молекулярные связи, что приводит к структурным изменениям. А механическая прочность впрямую зависит от структуры твёрдого тела.

Исследовалось влияние дозы радиации на прочность двух типов образцов. Первый тип: образцы из сухого стебля тростника облучались гамма лучами. Причём время экспозиции изменялось от 0 до 230. 00 часов. Второй тип: Образцы изготавливались из стебля сухого тростника, которые росли в условиях действия радиации. Причём радиационный фон в местопроизрастании тростника изменялся от 15 мкР/час до 640 мкР/час.

Прочность образцов из стебля тростника на растяжение определялась с помощью рычажного устройства [7]. Образцы представлялись в виде двойной лопатки. Размеры рабочей части: длина – 20 мм, ширина – 0.7-0.8 мм, толщина – 0.5-0.6 мм.

В табл. 1 приведены результаты экспериментов по определению прочности образцов, облучённых разными дозами гамма–лучей. Образцы облучались гамма–лучами при комнатной температуре. При облучении образцы находились на расстоянии 52-х сантиметров от источника Co-60. Мощность облучения составляла 133 Гр/мин. Время экспозиции изменялось от 0 до 230. 00 часов (табл. 1).

Таблица 1.

Влияния времени экспозиции на прочность образцов из тростника

№	Время облучения, t, час	Механическая прочность, σ, МПа
1.	Исходный	284,0
2.	23	269,6
3.	46	261,1
4.	115	223,3
5.	230	163,7

Из таблицы можно видеть, что по мере роста времени облучения образцов уменьшается их механическая прочность. Это, очевидно, связано с разрывом межмолекулярных связей макромолекул биополимера. Ясно, что с ростом времени экспозиции кумулятивно возрастает количество разорванных молекулярных связей.

На рис. 1 представлена зависимость прочности образцов стебля тростника при комнатной температуре от времени экспозиции. На рисунке каждая точка является средним значением для более чем десяти измерений. Можно видеть, что прочность образцов по мере роста времени экспозиции линейно падает.

Далее эксперименты проводились на базе образцов второго типа. В табл. 2 приведены результаты экспериментов по определению прочности образцов стебля тростника обыкновенного в зависимости от радиационного фона места произрастания. Можно видеть, что с возрастанием радиационного фона места произрастания прочность образцов нелинейно уменьшается.

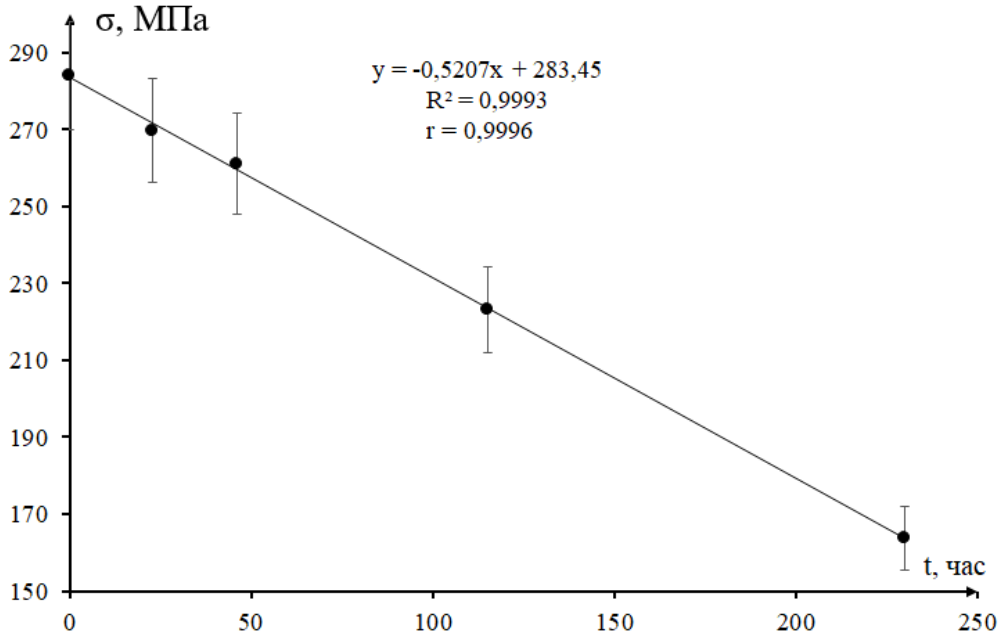


Рис. 1. Зависимость механической прочности образцов из стебля тростника от времени облучения

Таблица 2.

Влияние дозы радиационного фона место произрастания на прочность образцов стебля тростника

№	Место произрастания	Радиационный фон мкР/час	Прочность на разрыв, МПа
1.	Бабаджангафуровский район	15	284,0
2.	Худжанд	22	164,3
3.	Дегмай -1	70	128,4
4.	Дегмай -2	640	64.8

Известно, что прочность является интегральной характеристикой, которая непременно зависит от структуры и энергии межмолекулярной связи. Согласно [8], стебли тростника содержат примерно 63,3 %, а листя – 24,5% целлюлозы. Стебли также содержат протеин, жиры, клетчатку и др. органические вешества.

Известно, что гамма-излучения имеют большое радиационное влияние. Под действием гамма-излучений происходит разрыв связей. И чем длительнее время экспозиции, тем интенсивнее разрыв связей. Это отражается на снижении прочности образцов. Следовательно, по мере возрастания времени экспозиции кумулятивно растёт количество разорванных связей, что приводит к потере прочности биоматериала.

Как показывает эксперимент, образцы, приготовленные из стебля растений, которые росли в разных радиационных условиях, прочность образцов уменьшается по мере роста радиационного фона место произрастания. Отсюда следует, что гамма-радиация пагубно влияет на структуру и, следовательно, на прочность биоматериала.

Литература:

1. Юсупов И.Х., Умаров Н.Н., Марупов Р. Молекулярно-динамические и физико-механические характеристики лекарственного репейника // Доклады АН Республики Таджикистан, 2017. Т.60. № 5-6. С. 230–235.

2. Юсупов И.Х., Умаров Н.Н., Марупов Р. Исследование радиационной зависимости молекулярно-динамических и физико-механических характеристик лекарственного репейника методом спиновых меток // Вестник Таджикского Национального Университета. Серия естественных наук, 2017. №1/4. С. 117–121.
3. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел // М:Наука, 1974. 560 с.
4. Гуль В.Е. Структура и прочность полимеров // М: Издательство «Химия», 1974. 344 с.
5. Каримов С.Н. Прочность и разрушение полимеров, подвергнутых радиационному воздействию //Душанбе. Амри илм, 1998. 290с.
6. Абдуманонов А., Бозоров Н.С., Абдуманонова Ф. Прочность твердых тел: физическая сущность и важность //Учёные записки. Серия естественные и экономические науки. - Худжанд, 2019. №3. С.39–45.
7. Томашевский Э.Е., Слуцкер А.И. Устройство для поддержания постоянного напряжения в одноосного растягивающемся образце //Заводская лаборатория, 1963. №8. С. 994–996.
8. Boar R.R., Crook C.E., Moss B. Regression of Phragmites australis reedswamps and recent changes of water chemistry in the Norfolk Broadland // England. Aquat, 1989. Bot. 35. pp. 41–55
9. Исакулов, Б.Р. Исследование прочностных характеристик поризованных легких бетонов на основе отходов промышленности и растительного сырья Центральной Азии // Науч.-техн. вестн. Поволжья. Казань, 2011. № 5. С. 125–131.
10. Давыдова С.А., Ряднов А.И., Сальников А.Л., и др. Особенности технологии уборки тростника южного для получения пеллет // Будущее АПК: наука и технологии, инновации и бизнес: мат-лы VIII всероссий. науч. конф. студентов и молодых ученых, Астрахань. 2012. С. 38-40.

ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕР - ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

Б.И.Махсудов, И.Х. Файзуллоев
Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан
E-mail: maksudov_barot@mail.ru, fayzulloevinoyatulli@gmail.com

Одним из новых направлений развития науки в настоящее время является фотоника, которая занимается фундаментальными и прикладными вопросами управления оптическими сигналами. Фотоника изучает генерацию, детектирование и управление фотонов, занимается контролем и преобразованиям оптических сигналов для применения в оптической связи и создании оптических сенсоров в широком диапазоне длин волн. К области применения фотоники относятся волоконная, интегральная и нелинейная оптика, физику и технику полупроводниковых инжекционных лазеров и светодиодов на основе гетеронаноструктур.

Для реализации возможностей фотоники требуется исследования в области создания новых материалов, высокоточных оптоэлектронных и оптоинформационных технологий и устройства для управления информацией на основе фотонов. В свете этих задач на передний фронт выходят проблемы и методы управления фотонами, что сводится к задаче управления лазерным и светодиодным лучом.

В работах [1,2] было показано, что одним из интересных способов управления потоками фотонов является использование оптических свойств полимерно-жидкокристаллических композитов. Эффекты, происходящие на границе раздела двух сред, имеют весьма специфические проявления, если одна из них жидкокристаллическая (ЖК). С другой стороны, немаловажную рол в данном случае играет выбор источника излучения, ибо с этим связано решение таких проблем, как компактность, технологичность, возможность работы в широком спектральном диапазоне, инерционность и долговечность создаваемых устройств фотоники. В работах [3,4] было предложено использовать в качестве источника излучения использовать полупроводниковые инжекционные лазеры. Было установлено, что оптические свойства композитов на основе полимер-жидкий кристалл изменяется при одноосной деформации и зависят от мощности полупроводникового инжекционного лазера, а так же температуры окружающей среды (внутри интервала когерентности жидкокристаллических свойств композита).

Полупроводниковые инжекционные лазеры на основе гетеронаноструктур имеют ряд преимуществ, как источники оптического излучения. Это связано с наличием различных лазеров этого класса излучающие в широком спектральном диапазоне длин волн, от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного диапазона. Кроме этого, эти лазеры предоставляют возможность легко изменят мощность излучения, режим работы, стабильны к внешним воздействиям, имеют большое быстродействие, компактны и долговечны. В свете вышесказанного, предоставляется интерес изученные оптических свойств полимерно-жидкокристаллических композитов при различных длинах волн лазерного излучения и одноосно деформации.

В данной работе представлена экспериментальная установка для исследования влияния длини волны полупроводникового инжекционного лазера на оптические свойства полимерно- жидкокристаллических композитов. Установка позволяет исследовать взаимосвязь структурных параметров и оптических свойств полимерно-жидкокристаллических композитов при одноосной деформации. Особенностью данной экспериментальной установки является то, что с помощью подбора соответствующих инжекционных лазеров с различной длиной волны генерации можно исследовать зависимость оптических свойств данных композитов от длины волны лазерного излучения.

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки для исследования оптических свойств полимерно – жидкокристаллического композита. Устройство содержит полупроводниковые инжекционные лазеры на основе гетеронаноструктур InGaAsP/AlGaAs работающий в красном спектральном диапазоне и нитрат галлий индиевый наногетероструктуре (GaNIn) работающей в синем спектральном диапазоне, оптический коллиматор лазерного луча для получения параллельных лазерных лучей, полимерно – жидкокристаллический композит на основе нематического жидкого кристалла (НЖК) 4-циано-4N-гептилбифенил (7ЦБ), анализатор поляризации лазерного луча для контроля изменении поляризации лазерного луча после прохождения композита, фотоприёмник для регистрации лазерного луча. Капсулированые жидких кристаллов в полимер и получение композитных плёнок производилась согласно методике приведённой в работе [5].

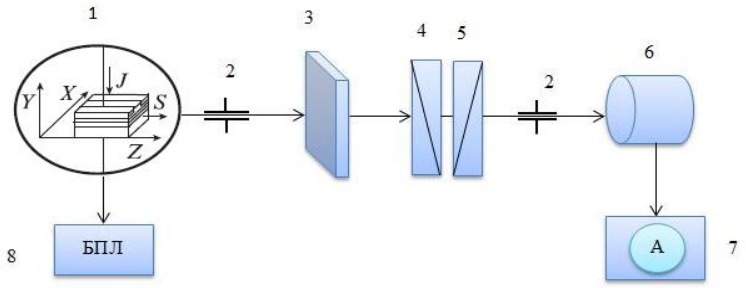


Рис.1. *Схема экспериментальной установки для исследования оптических свойств композитов на основе полимер-НЖК. 1-полупроводниковый инжекционный лазер на основе гетероструктур InGaAsP/AlGaAs и GaNIn, 2-оптический коллиматор лазерного луча, 3-полимерно-жидкокристаллический композит на основе нематического жидкого кристалла (НЖК) 4-n-гептил-4'-цианобифенил (7СВ), 4,5-анализатор, 6-фотоприёмник. 7-компьютер, 8-регулируемый блок питания инжекционного лазера, 9-термостат.*

Луч инжекционного лазера после оптического коллиматора преобразуется в параллельный луч. Далее этот луч направляются на полимерно – жидкокристаллическую композиционную плёнку, которая с двух концов закреплена на специальную присадку обеспечивающей плавного растяжения композита. Специальное устройство обеспечивает измерения относительного растяжения композита. При одноосной деформации данного композита происходит ориентация молекул ЖК и в результате изменяется коэффициент оптического пропускания объекта. Изменение интенсивности этого луча измеряется фотоприёмником. Оптическая система поляризатор-анализатор используется для контроля степени поляризации лазерного луча. С помощью регулировки тока накачки инжекционного лазера можно изменять оптическую мощность лазерного луча.

Из предыдущих экспериментов [3,4] следует, что при одноосной деформации полимерно – жидкокристаллического композита на основе нематического жидкого кристалла (НЖК) 4-циано-4N-гептилбифенил (7ЦБ) коэффициент оптического пропускания лазерного излучения изменяется. При растяжении плёнки порядка 1мм интенсивность проходившего лазерного излучения начинает увеличиваться. Это связано с одноосной ориентацией молекул жидкого кристалла.

Для выяснения физической картины влияния длины волны лазерного излучения на оптические свойства композитов на основе полимер-жидкий кристалл данный эксперимент проводилось с лазерами красного и синего длин волн излучения. Как видно из рис. 3 изменение светопропускания композита от степени одноосной деформации для различных длин волн лазерного излучения имеет различное значение. Согласно экспериментальным данным, положение точек изменения зависимости при различных длинах волн будет различными, и сдвигается вправо при увеличении длины волны.

Данная зависимость характеристик светопропускания от длины волны указывает на то, что при одноосном растяжения полимерно-жидкокристаллического композита необходимо учесть длину волны лазерного излучения. По-видимому, это связано с зависимостью оптических свойств композитов на основе полимер-жидкий кристалл от длины волны лазерного излучения.

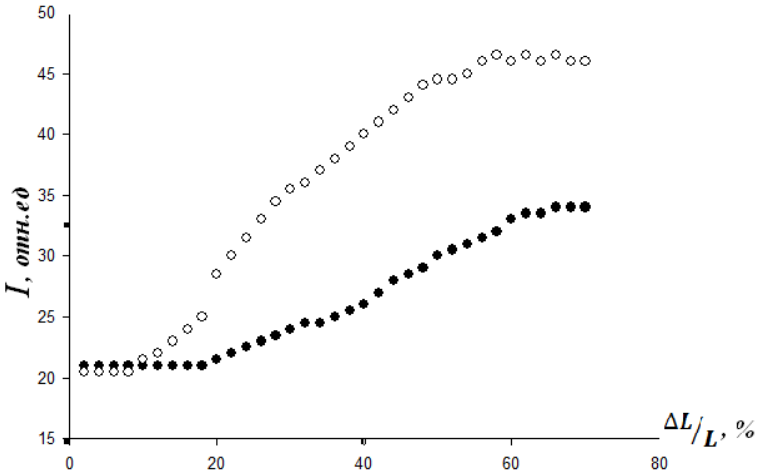


Рис.2. Зависимость изменения интенсивности светопропускания композитных пленок при одноосном растяжении от длины волн. 1-гетеролазер на основе *InGaAsP/AlGaAs и 2-гетеролазер на основе GaNIn*

Литература

1. Эгамов М.Х. Анизотропия светорассеяния полимерно-жидкокристаллических композиционных систем при одноосном растяжении. - Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2012, №4-2, с. 675-680.
2. С.Н Каримов, М.Х Эгамов. Оптические свойства одноосно растянутых полимерно-жидкокристаллических композитов // Доклады АН РТ -2011 г. №4 . – 145с
3. Махсудов Б.И.Файзуллоев И.Х. Эгамов М.Х. - Влияние мощности излучения инжекционного лазера на оптические свойства композитов на основе полимер-жидкий кристалл. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, 2019, №3, с. 83-89.
4. Махсудов Б.И.Файзуллоев И.Х. Эгамов М.Х. Оптический бистабильность в композитах на основе полимер – нематический жидкий кристалл при одноосной деформации. // Республиканской научно-практической конференции посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» на тему «Современные проблемы физики конденсированное состояние и ядерная физика» г.Душанбе, 2020, с.86-90.
5. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. // Новосибирск, Наука, 1994.- 214 с.

ВЛИЯНИЕ НАНОГРАФЕНОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ПОЛИМЕРОВ

Рашидов Дж., Табаров С.Х., Туйчиев Л.; Содиков Ф., Акназарова Ш.И., Дустов А.И.
E-mail: alidust@mail.ru

Полимерные нанокомпозитные материалы на основе фуллеренов, фуллереновой сажи, углеродных нанотрубок, наноалмазов и многих других нанокарбонов привлекают внимание большого круга исследователей в связи с их уникальной структурой и ценными свойствами, важными для практического применения в различных отраслях промышленности, техники, энергетики, машиностроения, биомедицины и др. [1-3]. Однако достоверных сведений о влиянии нанографеновых наполнителей на структуру и свойства полимеров в открытой литературе практически нет [4], что и побудило нас к постановке задачи настоящего исследования.

В качестве полимерных матриц были выбраны кристаллический полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) с молекулярной массой $M = 6 \cdot 10^4$ и аморфный полиметилметакрилат (ПММА) с молекулярной массой $M=8 \cdot 10^4$. Наполнителем служили нанографеноксиды, полученные нами гамма-облучением многослойных углеродных нанотрубок диаметром 40 нм в воздушной среде на установке РХМ-гамма-20 при дозе облучения D=10000 Мрад.

Для получения полимерных композитов на основе нанографеноксидов вначале готовили эмульсии наполнителя в бромбензоле путём ультразвуковой обработки смеси на установке УЗ-0,25 с частотой 250 кГц в течении 1 часа. Далее, в эмульсию добавляли заданную навеску полимера и дожидались до полного его растворения. После полного растворения полимера и образования однородной смеси раствор полимера-эмульсия нанографеноксидов производили её отливку в стеклянную кювету для получения плёнок. Толщина формуемых таким образом пленок составляла величину 15-30 мкм. Концентрацию наночастиц в композитах меняли в пределах C=0,1–3%. Поскольку ПЭНП растворяется в бромбензоле при температурах ~ 80°С и выше, то все операции по получению композита (получение эмульсии, растворение добавленного полимера и отливка смеси) на его основе проводились при температурах 80-90 °С. Для случая ПММА все операции производились при комнатных температурах.

Структуру образцов изучали на дифрактометрах ДРОН-2 и КРМ-1 с использованием медного излучения, фильтрованного никелем. Состояние поверхности образцов и распределение наночастиц наполнителей исследовали на микроскопе МИН-8; термограммы композитов получали на установке DSC 204F1 фирмы Netzsch при скорости нагрева и охлаждения 10 град/ мин. Механические испытания образцов проводили на стандартной разрывной машине РМ-1 при движении нижнего зажима 12 мм/мин. Состояние образцов во всех исследованиях было неориентированное.

Поскольку структура и свойства ПЭНП и ПММА при внедрении в них наночастиц изменялись по-разному, то результаты допирования полимеров рассмотрим раздельно.

Исходный ПЭНП и композитные пленки на его основе характеризуются сферолитной структурой с размером ~ 5 мкм [5]. Как показали структурные исследования, на большеугловых рентгенограммах (БР) исходных и композитных образцов наблюдаются основные характеристические рефлексы 110 и 200, следы наночастиц (нанографеноксидов), их агломератов или кластеров отсутствуют. С увеличением содержания наночастиц интенсивность рефлексов $I_к$, их положения 2θ и радиальные полуширины $\Delta 2\theta$ не изменяются. Следовательно, наночастицы не входят в кристаллическую решетку матрицы и не взаимодействуют с цепными молекулами. На малоугловых рентгенограммах (МР) исходных образцов наблюдается слабое дискретное рассеяние с тангенциальной периодичностью ~ 30 нм. С ростом концентрации наночастиц происходит увеличение интенсивности диффузного рассеяния, которое поглощает дискретное рассеяние. Это свидетельствует о росте концентрации микронеоднородностей типа пор и трещин в композитах [5]. По аналогии с нанокомпозитами на основе фуллереновой сажи, фуллеренов C_{60} и C_{70}, нанотрубок и наноалмазов [5], по-видимому, частицы нанографенов в основном располагаются как в межлучевых, так и межсферолитных аморфных областях и способствуют изменению их физического состояния и переходу из высокоэластического состояния в стеклообразное.

Результаты механических и тепловых испытаний исходного ПЭНП и его композитов на основе графеноксидов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тепловые и механические свойства композитов ПЭНП-графеноксиды

	σ_p, МПа	ε_p, %	$T_{пл}$, °C	$T_к$, °C
ПЭНП	19,7	550	107	95
ПЭНП-0,5 % графеноксид	13	310	107	95
ПЭНП- 1 % графеноксид	10	200	107	95
ПЭНП- 3 % графеноксид	10	110	107	95

Из табл. 1 видно, что с увеличением концентрации наночастиц наблюдается вначале падение, а затем сохранение разрывной прочности σ_p при резком снижении величины разрывной деформации ε_p (с 500% до 100%). Если для композитов ПЭНП на основе других наноуглеродов при концентрациях наполнителей C ≥ 3% происходит уменьшение σ_p и резкое падение ε_p, то в композитах ПЭНП-нанографеноксид это снижение выражено относительно слабо, т.е. наблюдается достаточно большое сохранение ресурса механических свойств.

Тепловые же свойства композитов ПЭНП-нанографеноксид оказались аналогичными свойствам композитов ПЭНП на основе других наночастиц [5] (см. табл. 1). На термограммах при нагреве наблюдается единственный острый пик при температуре 107 °C, а при охлаждении появляется пик кристаллизации при 95 °C. Увеличение концентрации наночастиц не сопровождается изменениями в температурах плавления и кристаллизации, т.е. структура композита остаётся относительно стабильной.

Теперь рассмотрим изменения в структуре и свойствах композитов на основе аморфного ПММА. Результаты механических испытаний этих образцов приведены в табл. 2. Как видно, с ростом содержания наночастиц в интервале C=0-3% в композитах происходит постепенное увеличение разрывной прочности σ_p на 20-25% при резком уменьшении деформируемости от 6 до 1,5 %.

Результаты термографических исследований приведены в табл. 2. На термограмме исходного ПММА наблюдаются пики - изломы при температурах T_1=80 °C, T_2=120-122 °C и T_3=180-200 °C. Температура T_1 соответствует температуре стеклования или размягчения, T_2- температуре перехода в высокоэластическое состояние, T_3 – температуре начала разложения ПММА. С ростом концентрации наполнителя в интервале 0 - 3% проявляется тенденция некоторого роста T_1 на 2 градуса, температуры перехода T_2 на 7 градусов и постепенное исчезновение пика при T_3 (см. табл. 2).

Таблица 2

Тепловые и механические свойства композитов ПММА-графеноксид

	σ_p, МПа	ε_p, %	T_1, ^{0}C	T_2, ^{0}C	T_3, ^{0}C
ПММА	39,8	6,5	80	120	180
ПММА-0,5 % графеноксид	42,5	4,5	82	122	200
ПММА-1 % графеноксид	45	2,0	82	122,5	-
ПММА-3 % графеноксид	50	1,5	82	127	-

Изменения T_1 и T_2 свидетельствуют об уменьшении подвижности цепных молекул матрицы, а также об изменениях ее физического состояния, а T_3 показывает смещение

температуры начала разложения композита в сторону более высоких температур. В этом, по-видимому, проявляется стабилизирующая роль наполнителя в композите.

Рентгенографические исследования на больших углах рассеяния показали, что с ростом концентрации наночастиц наблюдается довольно слабое и широкое отражение в области углов рассеяния 2θ = 6-40°, на фоне которого рефлексы от наночастиц не проявляются. На малоугловых рентгенограммах наблюдается довольно слабый рост диффузного рассеяния, что свидетельствует о незначительном увеличении микрогетерогенности в структуре. Необходимо отметить, что внедрение нанографеноксидов в ПЭНП и ПММА приводит к неоднотипным изменениям в их структуре и физических свойствах, как и в случае композитов этих полимеров на основе других нанокарбоновых частиц [5].

Таким образом, внедрение нанографеноксидов в ПЭНП и ПММА сопровождается различными изменениями в структуре, механических и тепловых свойствах этих полимеров.

Литература

1. Ana Maria Diez-Pascual. Carbon-based polymer nanocomposites for high-performance applications. Polymers, 2020, 12, p.872.
2. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть1): учебное пособие. Издательство Томского политехнического университета, Томск, 2013, 118 с.
3. Трефилов В.И., Щур Д.В. и др. Фуллерены основе материалов будущего. АДЕФ-Украина, Киев, 2001, 148 с.
4. Губин С.П., Ткачев С.В. Графен и материалы на его основе. Радиоэлектроника, наносистемы, информационные технологии, 2010, Т.2., №1-1, С.99-137.
5. Туйчиев Ш., Рашидов Д. Структура и свойства полимерных нанокомпозитов. НИИ ТНУ, Душанбе, Эр-Граф, 2018, 212 с.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН И ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ

Махмудов[1] Х.Ф., Афанасьев[2] П.И., Юлдашев[3]З.Ш.
[1]ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Ioffe Institute) Санкт-Петербург, Россия
[2]Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия
[3]ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана
[*]E-mail: zarifjan_yz@mail.ru

Аннотация: В статье рассматривается методика, которая основа на теории распада произвольного разрыва (задача Римана), которая позволяет определить параметры ударной волны на стенке взрывной полости. Описаны два возможных варианта преломления детонационных волн и приведены основные формулы для расчета. Рассмотрены вопросы детонационного разложения эмульсионных взрывчатых веществ, предложено уравнение состояния, позволяющее оценить детонационные параметры, учитывающее несжимаемый объем молекул газообразных продуктов взрыва.

Введение. В настоящее время на горных предприятиях используются эмульсионные взрывчатые вещества, которые обладают высокой степенью безопасности при изготовлении, транспортировки, заряжании скважин и хранении [12, 13, 14, 17]. Это связано с тем, что в них отсутствуют первичные взрывчатые вещества такие как: тротил, гексоген и др. По своим компонентам эти взрывчатые вещества можно сравнивать с простейшими

гранулированными взрывчатыми веществами (игданитами и гранулитами). Эмульсионные взрывчатые вещества, как правило, разделяют на два вида: «масло в воде» и «вода в масле». Эмульсионный состав вида «масло в воде» (или прямая эмульсия) по физическим свойствам и химическому составу следует отнести к водонаполненным взрывчатым веществам, так как они содержат в своем составе структурирующий агент и загуститель, а горючим компонентом матрицы эмульсии является топливо в водном растворе окислителя. Устойчивость свойств такой эмульсии поддерживается подбором требуемого эмульгатора. Другой состав вида «вода в масле» (или обратная эмульсия), называется эмулитам, который представляет собой эмульсию высококонцентрированного водного раствора солей окислителя (до 80 процентов растворенного солей нитрата аммония) в нефтепродуктах. Таким образом, так называемые обратные эмульсии, обладают более высокой стойкостью от воздействия воды, так как мельчайшие капли раствора окислителя находятся внутри тонкой водонепроницаемой пленкой топливной фазы.

При детонации взрывчатых веществ используют две теории:

1. Гидродинамическая теория Зельдовича-Неймана-Деринга.
2. Теория «Горячих точек». [1,6,10]

Методы. При преломлении детонационной волны на стенке взрывной полости в горную породу реализуются различные механизмы преломления волн для эмульсионных взрывчатых веществ: 1) значения давлений продуктов детонации могут находится выше ударной адиабаты горной породы; 2) значения давлений продуктов детонации могут ниже ударной адиабаты горной породы.

Скорость частиц в продуктах детонации после преломления детонационной волны, реализуемая по первому варианту:

$$u_f = \Delta u + u_d, \tag{1}$$

где u_d – массовая скорость частиц продуктов детонации, м/с; u_f – массовая скорость частиц в горной породе, м/с; Δu – приращение массовой скорость частиц, м/с.

Приращение массовой скорости можно оценить по изменению скорости частиц в продуктах детонации, данный интеграл был получен Г. Риманом [3]:

$$\Delta u = \int_{P_f}^{P_d} \frac{dp}{c\rho}, \tag{2}$$

где ρ – плотность продуктов детонации после преломления; c – скорость звука в продуктах детонации после преломления.

На основании формулы (2) можно получить исходные соотношения:

$$\begin{aligned} u_d &= \frac{D}{n+1}\rho_d = \frac{n+1}{n+\alpha_{kov}\cdot\rho_{vv}}\rho_{vv}, \\ c_d &= \frac{nD}{n+1}P_d = \frac{\rho_{vv}\cdot D^2}{(n+1)(1-\alpha_{kov}\cdot\rho_{vv})}. \end{aligned} \tag{3}$$

После преобразований, учитывая несжимаемый объем молекул:

$$\begin{aligned} c &= \left(\frac{P}{P_d}\right)^{\frac{n-1}{2n}} \frac{(1-\alpha_{kov}\cdot\rho_{vv})nD}{n+1}, \\ \rho &= \left(\frac{P}{P_d}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{\rho_d}{(1-\alpha_{kov}\cdot\rho_d)}. \end{aligned} \tag{4}$$

Далее формулы (4) подставим в интеграл Римана (2). Затем произведем интегрирование определенного интеграла по диапазону давлений от детонационного до давления в горной породе и получаем формулу:

$$\Delta u = \frac{2(n+1)}{(n-1)\rho_{vv} \cdot D} P_d \left[1 - \left(\frac{2P_f}{P_d}\right)^{\frac{n-1}{2n}}\right], \quad (5)$$

где P_f – давление на фронте ударной волны в среде, Па; P_d – давление в точке Чемпена-Жуге, Па; D – детонационная скорость, м/с.

Таким образом, после возникновения распада произвольного разрыва суммарная скорость частиц в продуктах детонации составляет:

$$u_f = \Delta u + u_d = \frac{2(n+1)}{(n-1)\rho_{vv} \cdot D} P_d \left[1 - \left(\frac{2P_f}{P_d}\right)^{\frac{n-1}{2n}}\right] + u_d. \quad (6)$$

Рассмотрим случай, когда импеданс горной породы выше импеданса взрывчатого вещества, то в продуктах детонации распространяется ударная волна вторичного сжатия, а в горной породе – ударная волна [6]. По обе стороны от границы скорости частиц в окружающей среде и в продуктах детонации станут равны:

$$u_f = -\Delta u + u_d. \quad (7)$$

Величина приращения массовой скорости для данного случая определяется следующим образом:

$$\Delta u = \sqrt{(P_f - P_d)(v_d - v_f)}. \quad (8)$$

Уравнение Гюгонио для отраженной ударной волны:

$$\frac{v_f}{v_d} = \frac{(n+1)P_d + (n-1)P_f}{(n+1)P_f + (n-1)P_d} = \frac{(n-1)\pi + (n+1)}{(n+1)\pi + (n-1)}, \quad (9)$$

где $\pi = \frac{P_f}{P_d}$.

Подставляя уравнение ударной адиабаты Гюгонио в зависимость (9) получим:

$$\Delta u = \sqrt{P_d v_d (\pi - 1)\left(1 - \frac{(n-1)\pi + (n+1)}{(n+1)\pi + (n-1)}\right)}. \quad (10)$$

Подставляя P_d, v_d из (3) и после выполнения преобразования получим:

$$\Delta u = (P_f - P_d)\sqrt{\left(\frac{2(n - \alpha_{kov} \cdot \rho_{vv})}{\rho_{vv}[(n+1)P_f + (n-1)P_d]}\right)}. \quad (11)$$

Формула для определения скорости частиц в продуктах детонации после преломления детонационной волны:

$$u_f = -(P_f - P_d)\sqrt{\left(\frac{2(n - \alpha_{kov} \cdot \rho_{vv})}{\rho_{vv}[(n+1)P_f + (n-1)P_d]}\right)} + u_d. \quad (12)$$

Ударную адиабату горной породы можно представить в следующем виде [9]:

$$P_f = \rho_m (C_v + \frac{G+1}{2} u_f) u_f, \quad (13)$$

где u_f – массовая скорость частиц горной породы; C_v – скорость объемной волны сжатия; G – коэффициент Грюнайзена.

Данный вид ударной адиабаты был выбран исходя из физической природы ударного воздействия. Расчетные значения не превышают 100 ГПа и являются волнами слабой интенсивности, поэтому нет необходимости учитывать тепловую составляющую давления. Рассчитываемые давления являются «холодной» составляющей ударного давления. Кроме этого горная порода не является высокопористой, поэтому нет необходимости учитывать сжимаемость пор [11].

Выразив из (13) массовую скорость частиц, а затем, приравняв ее к скорости частиц в продуктах детонации (1, 6), можно рассчитать итерационным методом ударное давление на фронте волны, а затем и саму массовую скорость частиц горной породы.

Решение выше написанных уравнений, позволит определить давление на стенке взрывной полости:

$$\frac{2(n+1)}{(n-1)\rho_{vv}\cdot D}P_d\left[1-\left(\frac{2P_f}{P_d}\right)^{\frac{n-1}{2n}}\right]+u_d-\left(\frac{C_v}{2}+\sqrt{\frac{(\rho_m C_v)^2+4P_f\rho_m}{2\rho_m}}\right)=0, \quad (14)$$

$$-\left(P_f-P_d\right)\sqrt{\left(\frac{2(n-\alpha_{kov}\cdot\rho_{vv})}{\rho_{vv}[(n+1)P_f+(n-1)P_d]}\right)}+u_d.-\left(\frac{C_v}{2}+\sqrt{\frac{(\rho_m C_v)^2+4P_f\rho_m}{2\rho_m}}\right)=0. \quad (15)$$

Решение данных уравнений реализовано в математическом пакете Matlab.

Результаты и их обсуждение. Для расчета использовались следующие физико-механические свойства горных пород [15, 18]: 1. Гранит: плотность породы $\rho_{пор}=2600$ кг/м^3, скорость продольной волны $C_p=5000$ м/с, коэффициент Пуассона $\nu=0{,}23$. 2. Песчаник: плотность породы $\rho_{пор}=2200$ кг/м^3, скорость продольной волны $C_p=2100$ м/с, коэффициент Пуассона $\nu=0{,}16$. 3. Алевролит: плотность породы $\rho_{пор}=2200$ кг/м^3, скорость продольной волны $C_p=1400$ м/с, коэффициент Пуассона $\nu=0{,}28$.

Основные детонационные характеристики взрывчатых веществ приведены в работе [19] в которые используются в качестве расчетных данных. Подставляя исходные данные (таблица 1[19]) в формулы (14) и (15), можно рассчитать параметры преломленной детонационной волны на стенке скважины (табл. 2 Массовая скорость частиц и напряжение на стенке взрывной полости в горной породе [19]). Были выбраны следующие взрывчатые вещества: Нитронит Э-70, Эмульсолит А-20 и ANFO. Нитронит Э-70 представляет собой эмульсионное взрывчатое вещество, предназначенное для ведения взрывных работ на месторождениях ведущих добычу полезного ископаемого открытым способом для горных пород с коэффициентом крепости до 20 по шкале Протодьяконова. Представляют собой механическую смесь эмульсии, пористой гранулированной аммиачной селитры, дизельного топлива и газогенерирующей добавки [16].

Экспериментальные данные брались данные из работы [7] для сравнения с расчетными данными по параметрам волн сжатия на границе взрывной полости. В работе [7] была получена зависимость между отношением импедансов горной породы и взрывчатых веществ к коэффициенту передачи давления в горную породу от газообразных продуктов взрыва. На рисунке 1 нанесены экспериментальные и расчетные точки. Экспериментальные данные были получены для ряда промышленных взрывчатых веществ в различных горных породах. Наибольшие значения относятся к акустически жестким породам и к высокобризантным взрывчатым веществам.

Выводы. В результате следует отметить, что коэффициент передачи давления в разные горные породы для одного взрывчатого вещества изменяется и растет с уменьшением акустического импеданса горной породы. При этом коэффициент передачи давления для разных взрывчатых веществ в одной горной породе имеет незначительное различие таблица 3 Коэффициент передачи давления в разные горные породы [19]. Результаты таблицы 3 показывают, что, несмотря на различия в детонационных параметрах взрывчатых веществ, на ударную адиабату горной породы может передаться определенная величина детонационного давления.

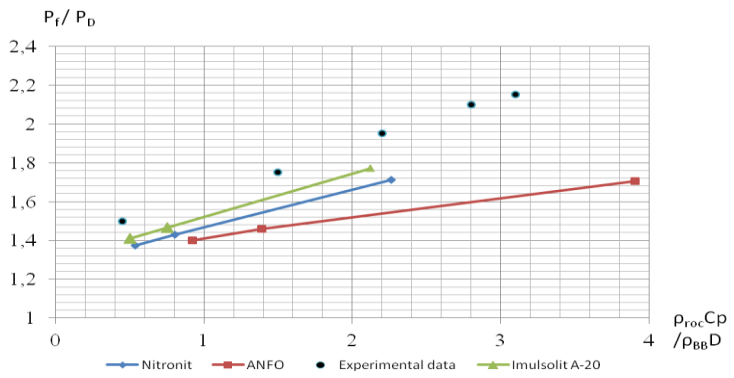


Рисунок 1. Зависимость коэффициента передачи давления в горную породу от отношения импедансов ВВ и горной породы

Литература

1. Gorinov S. A. 2010 Theoretical estimation of detonation parameters of granaditas *Gornyjinformacionno-analiticheskijbyulleten* **Vol. 8** 121-130.
2. Stanyukovich K.P. 1971 *Unstable Motion of Continuous Motion* (Moscow: Fizmatlit) 856
3. Baum F.A., Stanyukovich K.P., Shekhter B.I. 1959*Explosion Physics* (Moscow:Nauka) 800.
4. Pavel A., Sergey K., Valentin I. 2018 The equation of state for explosive detonation products *International Journal of Mechanical Engineering and Technology***9**(13) 865-868
5. Cook M.A. 1980 *Science of High Explosives* (Moscow: Nedra) 354.
6. Mitrofanov V.V. 2003 *Detonation of Homogenous and Heterogeneous Systems(*Novosibirsk: Lavrentyev Institute of Hydrodynamics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences) 200.
7. BorovikovV.A., MenzhulinM.G.1989 *Stress waves in a watered fissured array* LGI 85.
8. Andreev S.G., Andreev S.G., Babkin A.V. 2004 *Explosion Physics* (Moscow: Fizmatlit) **Vol. 2** 656.
9. MenzhulinM.G., Brovin B.E. 2009 Formation of longitudinal and volumetric waves in the vicinity of the cavity during the explosion of explosives in rocks *ZapiskiGornogo institute*,.**V. 180** 165-168
10. Bouden F., Ioffe A. 1955 Excitation and development of explosion in solids and liquids M. Ilim 119
11. Zuev B.Y., Zubov,V.P., Fedorov A.S. Application prospects for models of equivalent materials in studies of geomechanical processes in underground mining of solid minerals. Eurasian Mining. 2019, Issue 1, 8-12
12. Белин В. А., Парамонов Г. П. и Жимьян Ж. Особенности изготовления и применения смесевых взрывчатых веществ типа АСДТ на горных предприятиях Монголии. Записки Горного Института. -2018.-Т. 232.-364с.
13. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н. и Линник В. Ю. Оценка влияния абразивности горных пород на параметры породоразрушающих машин. ЗапискиГорногоИнститута. -2019.-Т.240.-621с.
14. Sidorenko A. A., Ivanov V.V., Dmitriyev P.N. A study of gas drainage methods efficiency in Kotinskaya mine in Russia. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.2020.№ 4, V 15, pp. 530 – 535.
15. Павлович А. А., Коршунов В. А., Бажуков А. А. и Мельников Н. Я. Оценка прочности массива горных пород при разработке месторождений открытым способом. Записки Горного Института. -2019. -Т.239.-502с.
16. Соколов И.В., Смирнов А.А. и Рожков А.А. Технология взрывной отбойки крепких ценных руд при веерном расположении скважин, Записки Горного Института. -2019. Т. 237.-285с.
17. Трушко В.Л. и Протосеня А. Г. Перспективы развития геомеханики в условиях нового технологического уклада, Записки Горного Института. -2019, Т. 236. -162с.
18. TsirelS.V., PavlovichA.A., Mel'nikovN.Y., ZuevB.Y.Physical Modeling of Deformation Processes in Pit Slope with Steep Bedding.Journal of Mining Science. 2019, V. 55, Issue 3, Pages 364-370.
19. PavelIgorevichAfanasev and KhairulloFaizullaevichMakhmudov.Assessment of the Parameters of a Shock Wave on the Wall of an Explosion Cavity with the Refraction of a Detonation Wave of Emulsion Explosives.Appl. Sci. 2021, 11(9), 3976; DOI: 10.3390/app11093976 https://doi.org/10.3390/app11093976.

НАНОСЕКУНДНАЯ ДИНАМИКА РАЗРУШЕНИЯ ТВЁРДЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ТЕЛ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

Махмудов Х.Ф., Веттегрень В.И.
ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Ioffe Institute) Санкт-Петербург, Россия.
**E-mail: h.machmoudov@mail.ioffe.ru*

Введение

К настоящему времени сделаны многочисленные попытки изучить механизм разрушения и деформации горных пород под действием ударных волн [1,2]. Основная трудность, с которой столкнулись авторы этих работ, заключается в том, что скорость ударных волн совпадает со скоростью продольной акустической волны, которая больше скорости поперечной звуковой волны. В тоже время трещины в теле могут расти со скоростью не больше ~ 0,3 -0,5 от скорости поперечной волны [3,4]. Поэтому, за время действия ударной волны трещины не успевают образоваться и вырасти. Экспериментальная техника, позволяющая выяснить каков же механизм разрушения при столь быстро протекающих воздействиях ударных волн, ранее отсутствовала. О нем судили, в основном, по результатам исследования поверхностей разрушения после действия ударных волн.

Несколько лет назад нами были построены установки, позволяющие исследовать механизм разрушения с временным разрешением 2 нс. Это открыло возможность экспериментально исследовать механизм и динамику разрушения горных пород непосредственно во время действия ударной волны. Большинство работ, в которых описаны результаты исследований разрушения в поле ударной волны было опубликовано в журналах «Физика твердого тела» и «Журнал технической физики». Ниже дан обзор работ, выполненных нами в последние годы, в которых изучен механизм и динамика разрушения кварца, гранитов, габбро-диабаза и мрамора.

Прежде чем перейти к их изложению, отметим, что исследования механизма других твердых тел (металлов, кристаллов, полимеров и композитов) с временным разрешением 2 нс до последнего времени не проводились. Поэтому вопрос о том, в какой мере изложенные ниже результаты могут быть справедливы для других твердых тел, остается открытым.

Исследуемые образцы

Образцы были приготовлены из кристаллов кварца, гранитов (аляскита и плагиогранита), габбро-диабаза и кальцита. Каждый из них представлял собой параллелепипед с размерами ~ 4x2,7x6 см (рис.1),

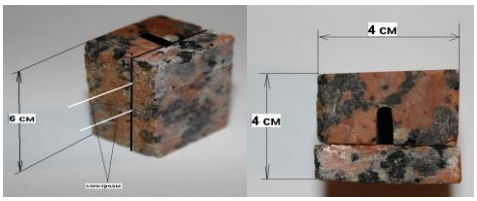


Рис 1

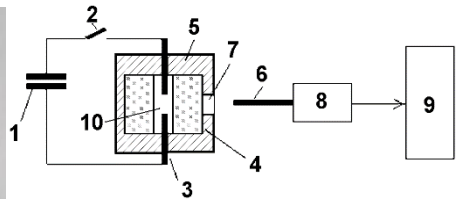


Рис 2

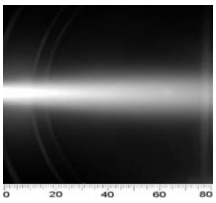
Рис.1. Вид образца из аляскита. в котором был прорезан паз глубиной ~ 1,3 см и шириной ~ 2-3 мм. В нем располагались медные электроды, расстояние между которыми ~ 3 мм. Паз закрывался другим параллелепипедом, имеющим размеры 4x1,3x6 см. Образцы помещали внутрь медной камеры, которая являлась частью установки.

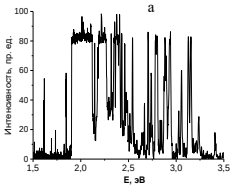
Рис. 2. Блок схема установки для исследования спектров излучения образцов горных пород, возникающих при разрушении: 1 – конденсатор, 2 – электронная схема запуска, 3 – электроды между, которыми происходит электрический пробой, 4 – образец, 5 – медная камера, 6 – кварцевый световод, 7 – окно в камере для вывода светового излучения, 8 – спектрометр AvaSpec-ULS3648, 9 – компьютер.

Метод изучения разрушения при воздействии ударных волн

Блок-схема установки для исследования механизма разрушения показана на рис. 2.

Конденсатор (1) емкостью 40 мкФ был заряжен до 2 кВ, что соответствует запасенной энергии 80 Дж. С помощью электронной схемы запуска (2) он разряжался через воздушный промежуток между электродами (3), что приводило к пробою воздуха и электрическому разряду между ними. Чтобы получить достаточно интенсивные спектры люминесценции, возникающей под действием ударных волн, мощность разряда составляла 8 МВт. При разряде в образце возникала ударная волна, которая добежав до поверхности образца, вызывала вылет струи плазмы (рис. 3).





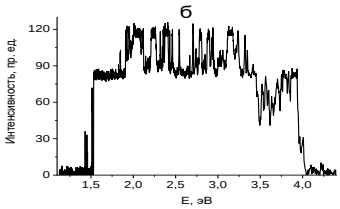


Рис 3 Рис 4 (a, b)

Рис.3. Фотография плазмы, вылетевшей из кварца под влиянием ударной волны.

Рис. 4. Спектры излучения плазмы, вылетевшей из кристалла кварца (а), кальцита (б)

Длина струи составляла несколько десятков см. Излучение плазмы попадало на вход кварцевого световода (6), расположенного на расстоянии ~ 1 м от образца. Второй конец световода располагался перед входным окном спектрометра AvaSpec-ULS3648 (8). Сигнал с выхода спектрометра подавался на вход персонального компьютера (9). Спектры плазмы, вылетевшей из исследуемых образцов, приведены на рис. 4. Они состоят из нескольких десятков, наложенных друг на друга узких полос. Для интерпретации спектров использовали таблицы спектральных линий. Оказалось, что наибольшее число полос соответствует излучению положительно заряженных ионов и атомов элементов, из которых состоят кристаллические решетки минералов, входящих в состав исследованных пород [5,6]. Так, спектры плазмы, вылетевшей из кварца, соответствовали излучению атомов и положительно заряженных ионов кремния, заряд которых изменялся от 1 до 4, а также атомов и положительно заряженных ионов кислорода, заряд которых изменялся от 1 до 3 [4,7,8]. Из гранитов вылетали положительно заряженные ионы и атомы Si, O, K, Ca, Al и Na, входящие в состав кристаллических решеток кварца и полевых шпатов [4]. Из кальцита вылетали положительно заряженные ионы и атомы Ca, C и O [5]. Какова же причина различного заряда ионов? За время существования плазмы ионы сталкиваются с электронами и друг с другом. Это и приводит к уменьшению заряда ионов вплоть до нуля, т.е. появлению атомов.

Известно, что люминесценция возникает при разломе, трении и ударе бойком по поверхности горных пород [7-9]. Оказалось, что спектры люминесценции, возникающие при таких воздействиях, отличаются от спектров плазмы, вызванной ударной волной. Для

примера, на рис. 5а,б показаны спектры люминесценции гранита (аляскита) и кальцита при трении.

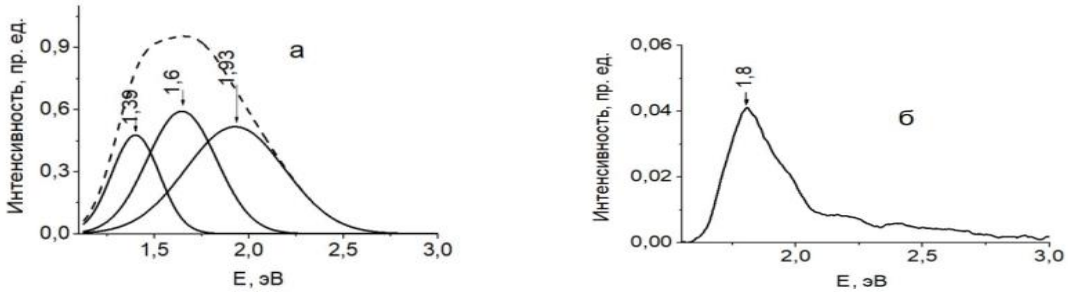


Рис. 5. Спектры излучения аляскита (а) и кальцита (б) при трении.

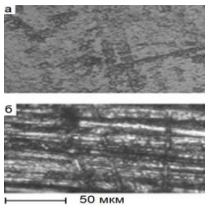
Они состоят из нескольких, наложенных друг на друга полос, которые имеют гауссову форму. Так максимум 1,39 эВ в спектре гранита возникает при переходе электронов из зоны проводимости в пустые ловушки, которые образуются при разрывах Si-O-Si и Si-O-Al связей в полевом шпате [4]. Максимум ~ 1,93 эВ возникает при релаксации электронного возбуждения радикалов $\equiv Si\text{-}O^-$, образующихся при разрывах Si-O-Si связей в полевом шпате и кварце [5]. Максимум 1,6 эВ возникает при релаксации электронного возбуждения в ионах Fe^{3+} [3], замещающих ионы Si^{4+} в кристаллических ячейках полевых шпатов. Максимум 1,8 эВ, приписан излучению радикалов CO^{-2}, образующихся при разрывах С–О связей в кальците. Эти данные показывает, что механизм разрушения при трении и ударе отличается от механизма разрушения при воздействии ударных волн.

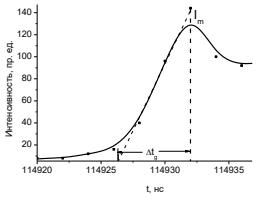
Чтобы выяснить причины этого различия, измеряли скорость ударной волны в граните [13,14]. С этой целью емкость конденсатора и вторичная обмотка трансформатора были подобраны таким образом, чтобы за время измерения разряд не приводил к разрушению образца. Как показали предварительные измерения, энергия разряда, удовлетворяющая такому условию, составляет ~ 0,2 Дж, а мощность - 0,2 МВт. Образец гранита представлял собой параллелепипед с размерами ребер 5×5×50 мм, в одном из концов которого прорезан паз глубиной и шириной ~ 1 мм. В нем располагались медные электроды, расстояние между которыми - 3 мм. Затем был произведен разряд, который вызвал появление ударной волны. Ее скорость оценили по времени пробега волны до другого конца, на котором был установлен датчик из пьезокерамики ЦТС-19. Она оказалась равной ≈ 5 км/с. Более точное значение скорости - 4,8 км/с получено в в результате анализа интерференции ударной волны в образце гранита. Оказалось, что она равна скорости продольной акустической волны в граните - 4,8 км/с . В тоже время, как уже упоминалось, скорость роста трещин не может быть выше ~ 0,3 - 0,5 от скорости акустической волны. Например, скорость поперечной акустической волны в граните ~ 3 км/с [10], т.е. максимальная скорость образования трещин ~ 1,0 - 1,5 км/с, в ~ 3 – 5 раз меньше скорости продольной волны. Это различие скоростей (~ 1,5 и 4,8 км/с) и является основной причиной различия механизмов разрушения. В работах [8-10] был предложен механизм разрушения щелочногаллоидных кристаллов, не связанный с трещинами. Авторы предположили, что при сильных искажениях кристаллической решетки возможно пересечение основной – связывающей и возбужденной – несвязывающей молекулярных орбиталей в кристаллах. Это может приводить к распаду межатомных связей на положительно заряженные ионы. Отметим, что плазма, вылетевшая из минералов, тоже в основном состоит из положительно заряженных ионов. Это позволило предложить [7,8], что ударная волна, отражаясь от

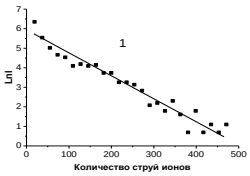
поверхности породы, искажает кристаллические решетки минералов настолько, что межатомные связи в них ≪распадаются≫. В результате поверхность породы ≪испаряется≫ путем вылета положительно заряженных ионов и электронов.

Рассмотрим динамику разрушения горных пород под действием слабых ударных волн при энергии разряда ~ 0,2 Дж, т.е. в ~ 400 раз меньше, чем в опытах, результаты которых описаны в предыдущем разделе. Блок схема установки показана в работах [11,12]

Известно, что деформация кристаллов осуществляется путем движения дислокаций, которые двигаются в плоскостях скольжения. Если такие плоскости пересекаются, то дислокации наталкиваются друг на друга, что приводит к возникновению стопоров, препятствующих их движению [1-4]. В работах [5] было показано, что в областях пересечения плоскостей скольжения дислокаций, искажения кристаллической решетки минералов настолько велики, что становится возможным распад межатомных связей. Ударная волна может выносить такие области на поверхность породы, и на ней должны наблюдаться дефекты, в виде протяженных ≪канавок≫. Оказалось, что, действительно, после воздействия ударной волны на поверхностях гранитов и габбро-диабаза наблюдаются протяженные ≪канавки≫ (рис. 5). Форма сигналов люминесценции (рис. 6).







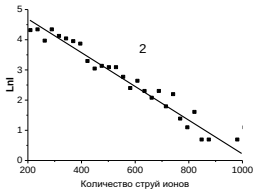


Рис 5 Рис 6 Рис 7 (1,2)

Рис. 5. Фотографии поверхности аляскита до (а) и после (б) ударной волны.

Рис. 6. Фрагмент временной зависимости интенсивности сигнала люминесценции.

Рис. 7. Временные зависимости интенсивности люминесценции ненагруженного (1) и сжатого (2) образцов габбро-диабаза (давление –190 МПа).

Они описываются выражением $-\mathrm{Ln}I = \mathrm{Ln}I_0 - bN$ [6-9] или: $I = I_0 \exp(-bN)$ определяется скоростью двух процессов. Первый – рост интенсивности при образовании и росте ≪канавки≫. Второй – уменьшение сигнала от ФЭУ после ее образования. Скорость такого уменьшения определяется величинами паразитной емкости и сопротивления нагрузки в нашей установке. Будем полагать, что максимальная скорость роста интенсивности струй ионов задана скоростью ударной волны. Как отмечалось, в гранитах она составляет ~ 5 км/с. Тогда, по времени Δt достижения максимального значения интенсивности I_m струй (см. рис. 7), можно оценить длину дефектов. Оказалось, что для всех исследованных гранитов она варьирует от ~ 5 до 30 мкм.

На рис. 7 в полулогарифмических координатах приведены распределения числа N струй ионов от их интенсивности I, которая пропорциональна длине" канавок" L.

Здесь I_0 – максимальная интенсивность струи ионов. Это означает, что распределение длин канавок описывается выражением: $L = L_0 \exp(-bN)$, где L_0 –максимальная длина ≪канавки≫, а b –опытная постоянная. Чтобы исследовать влияние сжимающего напряжения на динамику испарения ионов под действием слабых ударных волн [11,12], образцы помещали в пресс PGPR. Оказалось, что, если приложенное давление $P<0{,}9P_f$, где P_f — разрушающее напряжение, то при увеличении давления параметры I_0 и b в (1) уменьшаются (рис. 8).

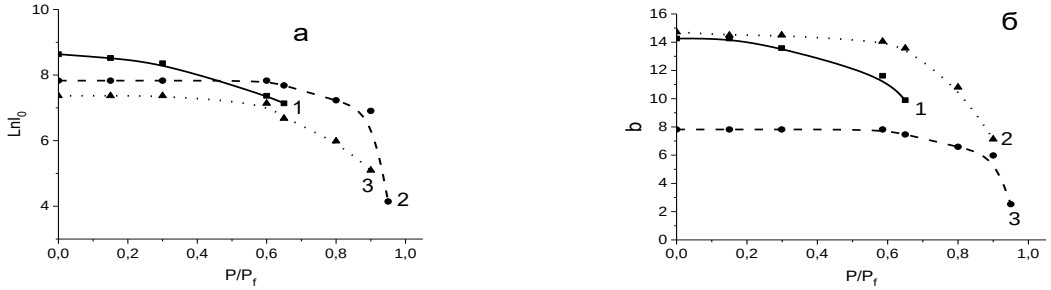


Рис. 8. Зависимости LnI_0 (1) и b (2) от давления: 1 – габбро-диабаз; 2 –плагиогранит; 3 – аляскит.

Вывод: Этот результат может быть объяснен действием двух механизмов: с одной стороны сжатие образца может препятствовать движению дислокаций, а с другой - оно может способствовать их аннигиляции.

Список литературы

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Недра. 1993. 319 с.
2. Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г. // Физика твердого тела. 2005. Т. 47. Вып. 5. С. 801-807.
3. Веттегрень В.И., Куксенко В.С., Щербаков И.П. Кинетика эмиссии света, звука и радиоволн из монокристалла кварца после удара по его поверхности // Журнал технической физики. 2011. Т. 81, Вып. 4. С. 148-151.
4. Веттегрень В.И., Куксенко В.С., Щербаков И.П. Механизм и динамика разрушения горных пород под влиянием механического удара и электрического разряда // Физика Земли. 2016а. №5. С. 134-149.
5. Щербаков И.П., Веттегрень В.И., Мамалимов Р.И., Махмудов Х.Ф. Наносекундная динамика разрушения напряженного гранита под влиянием ударной волны // Журнал технической физики. 2017а. Т. 87. Вып. 8. С. 1182 –1184.
6. Щербаков И.П., Веттегрень В.И., Мамалимов Р.И., Махмудов Х. // Физика твердого тела. 2017в. Т. 59. Вып. 3. С. 556-558.
7. Щербаков И.П., В.И. Веттегрень, Р.И. Мамалимов, Махмудов Х.Ф. // Журнал технической физики. 2018 . Т. 88. Вып. 7. С. 1009-1013.
8. Galvez H.I.P. Analysis of the state of the art of blast-induced fragment conditioning // Minerals Eng. 2011. V. 24. P. 1638 –1640.
9. Gunasekaran S., Anbalagan G., Pandi S. Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure // J. Raman Spectrosc. 2006. V. 37. P. 892–99.
10. Gotze J. Application of cathodoluminescence microscopy and spectroscopy in geosciences // Microsc. Microanal. 2012. V. 18. P. 1270 - 1284.
11. Махмудов Х. Ф, Щербаков И. П. Метод фрактолюминесценции и наносекундная динамика импульсов люминесценции, геоматериалов под влиянием ударных волн В книге (сборнике): VII Международная научно-практическая конференция “Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики” IPDME-2020; Санкт-Петербург 23-24 апреля 2020 (840 стр.) страницы: 707-712. http://ipdme.spmi.ru/sites/default/files/doc/SBORNIK_IPDME_2020.pdf
12. И. П. Щербаков, Х. Ф. Махмудов. Разработка установки и новый метод изучения разрушения горных пород ударными волнами в лабораторных условиях. В книге (сборнике): инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021; Санкт-Петербург 23-24 апреля 2021 (840 стр.) страницы: 493-499.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ ДЕВЯСИЛ ВЫСОКИЙ (INULA HELENIUM L.) ПО ДАННЫМ МЕТОДА СПИНОВЫХ МЕТОК

И.Х. Юсупов, О.И. Юсупов, А.К. Бахдавлатов, К.А. Рузиев

Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Таджикистан.

Методом спиновой метки исследована влияние перекиси водорода на молекулярную структуру лекарственного растения девясила высокого. Показано, что влияние перекиси водорода зависит от объёма его концентрации. В спектрах ЭПР с последовательным увеличением объёма концентрации перекиси водорода происходят уширение линии, то есть сигнал из более расторможенного переходит к заторможенному виду. Установлено, что с ростом спектральных параметров (2A'z – расстояние между внешними экстремумами; ΔH_{-1} - ширина линий в низком поле; ΔH_{+1} - ширина линий в высоком поле и ΔH_0 - ширина центральной компоненты спектра ЭПР), исследуемых образцов в среде (корень девясила высокий + перекись водорода + нитроксильный радикал) становится: более вязким раствором , а при большом объёме концентрации перекиси водорода (6,0 мл) получается сильный густой раствор и происходят структурные переходы, сопровождающиеся заметным увеличением вращательной диффузии радикала в изученных образцах, которые свидетельствует об увеличении взаимодействия между молекулами и спиновой меткой.

Лекарственные растения в настоящее время являются ценным средством для лечения и профилактики хронических заболеваний. Интерес к лекарственным растениям объясняется повышенным стремлением людей быть ближе к природе, избегать отрицательного воздействия синтетических средств. В то же время преимуществом большинства растений является их малая токсичность. Кроме того, считается, что более эффективными являются те лекарственные растения, которые произрастают в экологически чистых условиях [1,2].

Целью данной работы является исследование влияние перекись водорода на структуру молекул в составе лекарственного растенья девясила высокого, произраставшей в Ховалингском районе Кулябской долины на высоте 1437 м. над уровнем моря Республики Таджикистан.

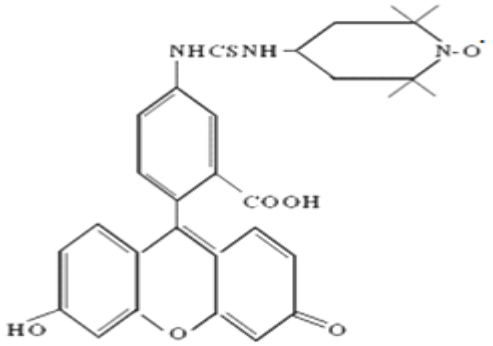
Девясил высокий – один из самых популярных лекарстыенных растений, применямых едва ли не от всех болезней [3-5]. Растение обладает следующим терапевтическим действием: противовоспалительным; антимикробным; отхаркивающим; желчегонным; мочегонным; противоглистным (особенно при аскаридозе). Препараты девясила высокого благоприятно влияют на желудочно-кишечный тракт, улучшая аппетит, успокаивая кишечник и снижая секрецию желудочного сока. Растение высотой до 175 см, стебель прямой. У девясила толстое и мясистое корневище, от которого отходит много боковых корней. Листья разного размера. Нижние листья эллиптические и крупные (их длина до 50 см), а верхние менее крупные и имеют яйцевидно-ланцетную форму. Цветки желтого цвета распускаются на концах ветвей и стеблей. Цветы девясила – это корзинки из краевых и срединных цветков. Срединные цветки трубчатые и обоеполые, а краевые – язычковые, женские. Цветет растение в июле-сентябре [3,4].

Метод спиновых меток является одним из эффективных методов изучения изменений молекулярной динамики биологических объектов в области её присоединения и чувствительным к молекулярной подвижности макромолекулы [6-15]. Изучение молекулярной структуры и свойства лекарственных растений, модифицированных спиновой метки (I), дает возможность исследовать изменение структуры молекул и свойства при влияние внешних факторов.

Особенность метода спиновых меток заключается в том, что в матрицу исследуемого образца вводят стабильный нитроксильный радикал, ЭПР спектр которого чувствителен к конформационной подвижности макромолекулы, связанной с анизотропией g-фактора и сверхтонкого взаимодействия электронного спина с ядрами атома азота. Спектр ЭПР радикала зависит от его ориентации во внешнем магнитном поле [6-9].

Стохастические изменения ориентации радикала модулируют магнитные взаимодействия, поэтому форма спектра ЭПР зависит от вращательной подвижности радикала. По форме спектра, регистрируемого в стандартных условиях (первая гармоника сигнала поглощения, ненасыщающие значения микроволновой мощности), можно оценить время корреляции вращательных движений τ_c радикала в диапазоне 5.10^{-11} -10^{-7}с. [6-15].

Образцы корневища девясил высокого тщательно очищали от сопутствующих веществ, промывали обычной и дистиллированной водой, экстрагированным эфиром, спиртом и высушивали при комнатной температуре [13]. Процесс изготовлений исследуемых образцов провели следующим образом : В пробирки взяли 50 мг очищенного девясила высокого (ДВ) и добавляли 1,5 мл перекись водорода (ПВ), смесь оставили на 5 суток в результате получается вязкий растворный смесь, а затем добавили 1,5 мл нитроксилный радикал (НР) в этаноловом растворе, получается образец №1, которые в дальнейшим называем при объёме концентрации ПВ = 1,5 мл . Образец №2 – все также, но добавили 3,0 мл ПВ, получилось более густая смесь: объём концентрации ПВ = 3,0 мл. Образец №3 – все также, но добавили 6,0 мл ПВ получили сильный густой смесь: объём концентрации ПВ = 6,0 мл. В качестве спиновой метки использовали стабильный нитроксильный радикал (I), имеющий следующую структурную формулу:



Исследуемые образцы лекарственного растенья девясила высокого в порошковом виде модифицировали спиновой меткой (I) по методике [15].

Спектры ЭПР регистрировали на радиоспектрометре РЭ – 1306 в стандартных молибденовых ампулах с внутренним диаметром 3.0 мм, в которые помещали по 25 мг спин-меченого образца. Спектры ЭПР записывали при следующих условиях: затухание СВЧ мощности 5 Дб, амплитуда развёртки магнитного поля 200 Э, скорость развёртки магнитного поля 40 Э/мин, амплитуда ВЧ модуляции 100 кГц [16].

Время корреляции вращения спиновых меток в исследуемых образцах определялись по формулам: [7-10]

$$\frac{1}{\tau_c} = \frac{3{,}64 \cdot 10^9}{\left(\sqrt{\frac{h_0}{h_{-1}}} - 1\right)\Delta H_0} \; ; \qquad \nu = \frac{1}{\tau_c} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{10}}{\left(\sqrt{\frac{h_{+1}}{h_{-1}}} - 1\right)\Delta H_0} \, сек^{-1},$$

где ΔH_0 – ширина центрального компонента в гауссах; h_0, h_{+1} *и* h_{-1} – интенсивность компонентов спектра с М=0, +1 и -1, ν = 1/τ- величина, условно называемая “частотой вращения” радикала.

На рис.1 приведены ЭПР - спектры стабильного нитроксильного радикала (I) в этаноловом растворе с концентрацией $4 \cdot 10^{-3}$ М / л , с временем корреляции ($\tau_c < 10^{-7}$ с.) и спин – меченого лекарственного растенья девясила высокого при влиянии перекиси водорода (ПВ) с различными объёмными концентрациями. Как видно из рис.1 с увеличением объёма концентрации в спектрах ЭПР наблюдаются уширении линии между компонентами, то есть заторможенность, которое свидетельствуют о том, что при больших значениях объёма концентрации перекиси водорода в исследуемом образце происходит процесс растворения, то есть структурное изменение сопровождающиеся заметным увеличением вращательной диффузии радикала в изученных образцах, которые свидетельствует об увеличении взаимодействия между молекулами и спиновой меткой рис.1.(4).

А при низких значениях объёма концентрации ПВ в образцах спин –меченых девясила высокого, происходит процесс растворения, но очень мало и по этому получается, мало вязкий раствор. Из рис.1(2,3) видно, что спектры ЭПР имеют более расторможенный вид но не так, как нитроксилный радикал в растворе, здесь имеется уширение линии, то есть увеличение спектральных параметров.

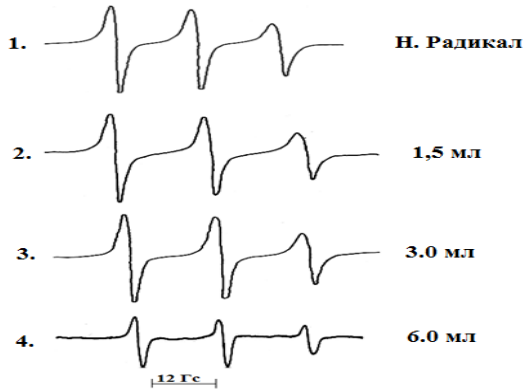


Рис.1. ЭПР-спектры свободного нитроксильного радикала (I) в этаноловом растворе с концентрацией $4 \cdot 10^{-3}$ М/л и с временем корреляции ($\tau_c < 10^{-8}$с.) – 1; и спин – меченого девясил высокий в среди (ДВ+ПВ+НР) при влияние различных объёмного концентрации перекись водорода: 2 – 1,5 мл; 3 – 3,0 мл; 4 – 6,0 мл.

Таблица 1

Параметры спектров ЭПР спин-меченого лекарственного девясила высокого при влиянии перекиси водорода (ПВ)

№	Концентрация перекиси водорода в корень девясила высокого	Спектральные параметры				
		h_0 / h_{-1},	h_{+1}/h_{-1},	ΔH_0, Гаусс	τ_c рассчитана по (h_0/h_{-1})	τ_c рассчитана По (h_{+1}/h_{-1})
1	Нит. радикал	1,5	1,7	5	$0{,}2 \cdot 10^{-9}$	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$
2	1,5 % ПВ	1,7	1,9	5	$0{,}4 \cdot 10^{-9}$	$1{,}7 \cdot 10^{-10}$
3	3.0 % ПВ	1,7	1,7	6	$0{,}5 \cdot 10^{-9}$	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$
4	6.0 % ПВ	1,7	1,8	6	$0{,}5 \cdot 10^{-9}$	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$

Примечание: время корреляции определено при двух случаях, которые в обеих случаях закономерность изменениях одинакова.

На рис.1 и в табл.1 приведены следующие параметры спектров ЭПР спин-меченного лекарственного девясила высокого при разных концентрациях перекиси водорода: 2A'z – расстояние между внешними экстремумами; ΔH_0 – ширина центрального компонента в гауссах; h_0, h_{+1}, h_{-1} – интенсивность и ΔH_0, ΔH_{+1}, ΔH_{-1} – ширина соответственно центральной, низкопольной и высокопольной компоненты спектра ЭПР; h_0/h_{-1} –отношение интенсивностей центральной и высокопольных линий иммобилизованных меток; h_{+1}/h_{-1} - отношение интенсивностей высокопольных и низкопольных линий иммобилизованных меток для изученных образцов.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты методом спиновых меток свидетельствуют о том, что: - в растворе перекиси водорода с присутствием лекарственного растения девясила высокого и в этаноловом растворе нитроксыльного радикала, то есть, в смеси содержащий перекись водорода, влияет на молекулярную структуру лекарственного девясила; - при большим объёма концентрации перекись водорода (6,0 мл) получается сильный густой раствор и происходят структурные переходы, сопровождающиеся заметным увеличением вращательной диффузии радикала в изученных образцах.

Литература

1. Велюгина Е.Т. Лекарственные растения России. СПб.: Издатель,1997.284с.
2. Лекарственные растения. каталог, М.: Медицина, 1985, с. 256.
3. Корсун У.Ф. Фитотерапевтический оздоровительный комплекс. М.: Фитосан-Интер,1994. 31 с.
4. Дудченко Л. Г., Козьяков А. С., Кривенко В. В. Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения: Справочник/ Отв. ред. К. М. Сытник. - К.: Наукова думка, 1989, 304 с.
5. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / сост. И. Н. Путырский, В. Н. Прохоров. - М.: Махаон, 2000. - С. 115-116.
6. Метод спиновых меток / Под ред. Л. Берлинера. М.: Мир, 1982.
7. Лихтенштейн Г.И. Метод спиновых меток в молекулярной биологии. М.: Наука, 1977.256 с.
8. Фрид Д.Ж. Метод спиновых меток. Теория и применение М.:1979. С. 207-362.
9. Лихтенштейн Г.И., Котельников А.И. // Молекулярная биология. 1983. Т.17. №3. с. 505-507.
10. Кольтовер В.К. - Итоги науки и техники - Биофизика. М.: ВИНИТИ. 1979. .11. 10 с.
11. Likhtenshtein G.I., Yamauchi J., Nakatsuji S., Smirnov A., Tamura R. Nitroxides // Application in Chemistry, Biomedicine, end Materials Science WILEY-VCH Weinhem 2008.
12. Likhtenshtein G.I. Stilbenes // Application in Chemistry. Life Science end Materials Science WILEY-VCH Weinhem. 2009.
13. Юсупов И.Х, Бахдавлатов А.Д., Марупов Р. Исследование молекулярной структуры лекарственных растений одуванчика (Taraxacum officinale Wigg.) и цикория обыкновенного(Cichorium intybus L.) методом спиновой метки. // ДАН РТ. 2012. Т.55. №11. С.880-886.
14. Юсупов И.Х., Бахдавлатов А.Д., Марупов Р. Изучение вращательной подвыжности спиновых меток в дикорастущей родиолы холодной (rjdiola gelida schrenk) в зависимости от температуры // Вестник ТТУ. 2012г. №3(19). С. 13-16.
15. Юсупов И.Х., Бахдавлатов А.Д., Марупов Р. Влияние экологических условий на молекулярную структуру лекарственных растений одуванчика (Taraxacum officinale Wigg.) и цикория обыкновенного (Cichorium intybus L.) // Журнал Теоретическая и прикладная экология. 2014. №2. С. 41-45.
16. Юсупов И.Х., Бахдавлатов А.Д., Алидодов Т.М., Марупов Р.М. Исследование молекулярной динамики дикорастущих лекарственных растений произрастающих в различных регионах Таджикистана методом спиновых меток. Научно-теоретический и практический журнал //Современный Научный Вестник. 2014. №46(242). С. 65-72.

МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОЛЕКУЛАХ ПРОИЗВОДНЫЙ ТРИАЗОЛА И ЕГО РАСТВОРАХ ПО ДАННЫМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И НЕЭМПИРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТОВ

Муллоев Н., Ходиев М.
E-mail: masrur_hodiev@mail.ru

Образование межмолекулярной водородной связи играют важную роль во многих физических, химических и биологических процессах и в процессах самоорганизации молекулярных систем в конденсированных средах. Актуальность этой задачи растет, если она решается для вещества, имеющий широкий практической значимости. В данном случае такими веществами являются гетероциклических соединений, которые являются одним из широко распространённых в природе органических соединений, составляющих основы многих природных биологически активных веществ и лекарственных средств [1].

В настоящей работе методом ИК-спектроскопии и квантово-химических расчетов проводились исследования образования водородной связи в растворах 1.2.3-бензотриазола с протоноакцепторными растворителями (ацетон, ацетонитрил, диоксан, диметилформамид (ДМФА)). В качестве неполярного растворителя использовался четыреххлористый углерод (CCl_4).

ИК-спектры исследуемых объектов записаны на инфракрасном спектрофотометре IRAffinity-1 с преобразованием Фурье в интервале частот от 3700 до 2000 см$^{-1}$. Квантово–химические расчеты проводилась методом функционала электронной плотности B3LYP/6–31G с использованием комплекса программ Gaussian [2-4].

На основании полученных результатов проводилась сравнительный анализ образования Н-комплексов посредством водородной связи с участием 1.2.3-бензотриазола с протоноакцепторными растворителями различной силы и природы. В этом случае в растворе образуются Н-комплексы между молекулами 1.2.3-бензотриазола и растворителями, который приводит к изменению положения и формы полосы ν_{NH} 1.2.3-бензотриазола.

На рис.1. (а, б), в качестве примера, приведены экспериментальное и расчётные ИК-спектры поглощения мономера 1.2.3-бензотриазола и Н-комплексов 1.2.3-бензотриазола с ацетонитрилом в области валентных колебаний группы N–H.

Видно, что при добавлении в разбавленный раствор 1.2.3-бензотриазола в CCl_4 (3462см$^{-1}$) акцептора протона полоса поглощения изменяется и проявляются все спектральные признаки образования Н-комплексов посредством водородной связи типа NH…N≡C между NH-группой 1.2.3-бензотриазола и азотом (N) ацетонитрилом, то есть происходит смещение полосы NH-группы 1.2.3-бензотриазола в область низких частот (3283см$^{-1}$), увеличение полуширины полосы и увеличение ее интегральной интенсивности. Смещение полосы поглощения ν_{NH} мономера 1.2.3-бензотриазола при образовании Н-комплексов подтверждается также результатами квантово-химических расчётов. Согласно выполненным расчетам, частота колебаний NH-группы мономера 1.2.3-бензотриазола составляет 3461 см$^{-1}$. При образовании водородной связи с молекулой ацетонитрила, которая выступает акцептором протона, это полоса сдвигается в область низких частот на 181 см$^{-1}$ и проявляется при 3280 см$^{-1}$. Для минимизации расхождения вычисленных и измеренных значения частот были использованы метод масштабирования [5]. Поскольку в

области поглощения комплексов отсутствуют дополнительные максимумы, можно утверждать, Н-связь образуется, в основном, посредством группы NH.

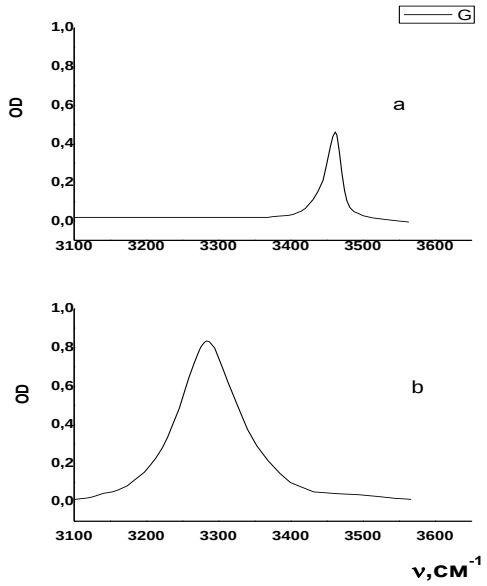


Рис.1. (а). ИК-спектры поглощения 1.2.3-бензотриазола в среде CCl_4 ($C_{1,2,3\text{-бенз}}$=0,003моль) (*a*) и его комплекса с ацетонитрилом (*b*) в области валентных N–H колебаний ($C_{ацнит}$= 0,47моль/л).

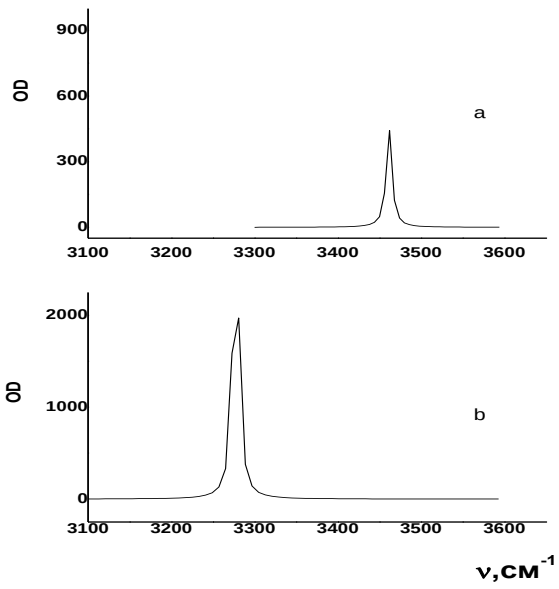


Рис.1.(б). Расчётные ИК-спектры 1.2.3-бензотриазола (а) и его Н-комплекса с ацетонитрилом (*b*) в области

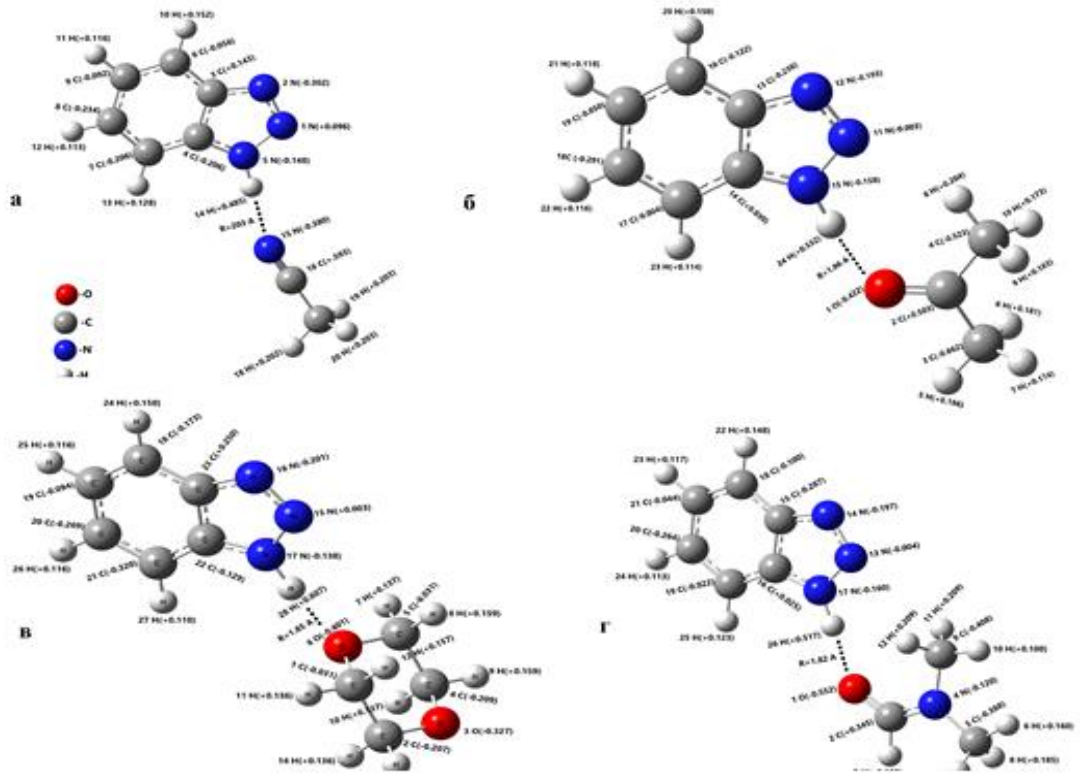


Рис.2. Молекулярная структура водородно-связанного комплекса 1.2.3-бензотриазола с растворителями: а-с ацетонитрилом; б-с ацетоном; в-с диоксаном; г- с ДМФА.

Утверждение о том, что образования Н-связи происходит в основном посредством группы NH, подтверждается результатами квантово–химических расчётов. На рис. 2 показана рассчитанная оптимальная молекулярная структура и заряды на атомах водородно-связанного комплекса 1.2.3-бензотриазола с выбранными растворителями.

Видно, что наибольший положительный заряд имеет место на атомах водорода группы N-H 1.2.3-бензотриазола, а наибольшая электронная плотность на атоме N группы N≡C ацетонитериле, атом O в группы O=C ацетоне, атом O группы O-C диоксане и атом O в группы O=C диметилформамиде. Поэтому электростатическое взаимодействие между этими атомами сильнее, чем взаимодействие между другими атомами.

В таблице приведены полученные спектральные и энергетические характеристики Н-комплексов 1.2.3-бензотриазола в растворах с протоноакцепторными растворителями в среде CCl_4.

Таблица. Спектральные и энергетические характеристики комплексов 1.2.3-бензотриазола с протоноакцепторными растворителями

№		Экспе	Δν экспе	Расч.	Δν расч	$-\Delta H$, экспе	$-\Delta H$, расч.	Тип связи
1	CCL_4	3462	-	3461	-	-	-	-
1	Ацетонитрил	3283	179	3280	181	16,18	16,30	NH…N≡C
2	Ацетон	3220	242	3218	243	19,46	19,51	NH…O=C
3	Диоксан	3190	272	3188	273	20,84	22,88	NH…O-C
4	ДМФА	3095	367	3094	367	24,71	26,71	NH…O=C

Энергия образования ассоциатов вычислена по сдвигу полос поглощения ν_{NH}, с помощью корреляционных соотношений $\Delta\upsilon = 9.5(\Delta H)^2 + 38$ [5], где Δν–разность частот положений максимумов полосы мономера 1,2,3-бензотриазола и полосы Н-комплексов: ΔН(кДж/моль)-величина энергии образования Н-комплекса.

Таким образом, результаты ИК-спектроскопическое исследование и квантово-химических расчетов показывают, что между молекулами 1.2.3-бензотриазола и протоноакцепторныяе растворителями, образуются водородной связи, приводящий к низкочастотному сдвигу полосы поглощения группы N-H свободных молекул1.2.3-бензотриазола с одновременным уширением и усилением полосы. Величина изменения спектроскопических свойств Н-комплексов зависит от силы и природы протоноакцепторных растворителей.

Литература

1. Д. Пиментал, О.Мак-Кледлан. Водородная связь // - М.: Мир,1964. - С. 462
2.Foresman J.B., Frisch J.M. Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods: A Guide to Using Gaussian // Pittsburgh: Gaussian Inc,1993.-PP.250.
3.Helgaker T. Molecular electronic – structure theory // J. Olsen. –New-York: Jonh Wiley & Sons. LTD, 2000.-PP.890.
4.V. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schiegel. et al. Gaussian 03. Revision B.03 // Pittsburgh: Gaussian Inc, 2003.-PP.20.

5. N. Sundaraganesan, S. Illakiamani, H. Saleem, P. M. Wojciechowski, D. Michalska, FT-Raman and FT-IR spectra, vibrational assignments and density functional studies of 5-bromo-2-nitropyridine, Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc. 61 (2005) 2995-3001.
6.Коробков В.С. К. Вопросу об эмпирических соотношениях между параметрами полос поглощения валентных колебаний ХН-групп и энергия водородной связи // Журн. прикладной спектр, 1973.м-Т.19. -№6. -С.1125-1127.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА И ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

Каримов С.К., Эгамов М.Х., Абдуманонов А.
Худжандский научный центр НАНТ, Худжанд
E-mail: Sorbon_25@mail.ru

С целью вариации механических, теплофизических и оптических свойств полимеров и композитов на их основе, в них обычно вводят наполнители, существенно изменяющие прочность. Это явления неоднозначно: в одних случаях при введении наполнителя прочность растет, а в других - уменьшается. Чтобы выяснить причины этого явления, нами проведены исследования зависимостей прочности полимерного композита от формы и размер частиц наполнителя.

В качестве полимерной матрицы использовался хорошо изученный линейный поливиниловый спирт (ПВС), пластифицированный глицерином. В качестве наполнителя брали широкого известный нематический жидкий кристалл (НЖК) 4-н-гептил-4'-цианобифенил (7CB), с положительной диэлектрической анизотропией ($\Delta\varepsilon > 0$), из класса алкилцианобифенилов. Находящийся в нематической фазе в диапазоне температур 25-42°С, НЖК 7CB способствует хорошему сцеплению со связующим полимерным материалом. Данный полимер (ПВС) известен как материал, имеющий широкий спектр применений. Он обладает высокой механической прочностью, в то же время им можно придать необходимую степень гибкости [1]. Учитывая такие характеристики, ПВС может стать основой для гибких и практически неограниченных по размеру устройств, для отображения информаций. Была изготовлена серия образцов ПВС: а) исходный; б) с содержанием НЖК 7CB с варьируемыми в пределах 25% по весу концентрации ПВС, соответственно. Образцы в виде смеси двух компонент (ПВС+7CB) изготавливались методом эмульгирования в водном растворе полимера с последующим испарением растворителя [2]. Подготовленный смесь наносили на поверхности стеклянной подложки и в режиме термостатирования испарили растворитель при поддержке постоянной температуры. Испытания проводились при помощи разрывной машины типа «Улитка» [3].

С целью определения размера, формы и координаты капли ЖК в однородном монослое полимерной пленки, опыты проводили с помощью поляризационного микроскопа POLAR 2 в режимах скрещённого поляризатора и отключении анализатора. На рис. 1 приведена микрофотография композитных пленок состава ПВС с каплями НЖК в геометрии скрещённых поляризаторов.

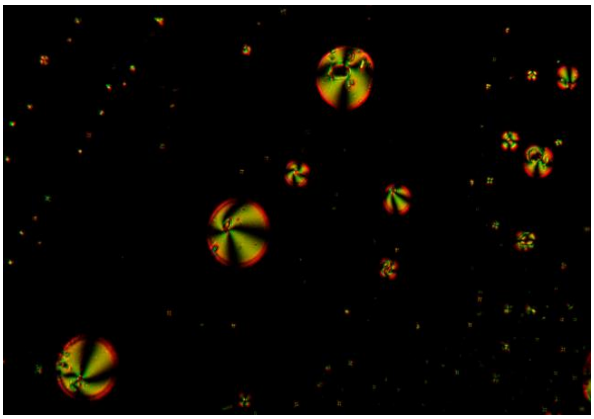


Рис. 1. Микрофотографии капель 7СВ на поверхность пленок ПВС в геометрии скрещенных поляризаторов

Как видно, в случае геометрии скрещённых поляризаторов наблюдается формирование капли микронного размера с различной структурой. Наблюдаемый эффект строго зависит от режима приготовления смеси композита. Сюда в первую очередь относится время перемешивания компонентов полимера и жидкого кристалла. В зависимости от скорости и времени перемешивания будут формироваться капли различной формы и размера. По мере увеличения скорости перемешивания большие капли разделяются на более мелкие, а форма их остаются в виде сферы. При наблюдении в микроскопе со скрещенными поляризаторами и прямым ходом лучей особенностью каждой сферической капли исследуемого вещества в нематической фазе является наличие четырех ветвей погасания, исходящих из центра капли и расположенных вдоль направлений поляризации николей (рис. 1). Поведение текстуры при вращении образца, а также при введении диафрагмы между образцом и поляризатором в точности совпадает с описанным подробно в [2] для капель смектика с нормальными граничными условиями и позволяет сделать вывод, что нематические слои в каплях имеют сферическую концентрическую упаковку. Иными словами, поле директора ***n*** содержит идеальный радиальной структуры во всем объеме капли, за исключением, возможно, области ядра дефекта с диаметром, меньшим 0,5 мкм.

Наблюдавшийся фазовый переход происходит на уровне макроструктуры капли нематика, поэтому явный вид параметра порядка φ и свободной энергии E=f(φ) определяется распределением директора *n*® низкосимметричной структуры. Построение n® является основной задачей теоретического описания рассматриваемого эффекта. Мы попытались построить пробную функцию n_0(г), зависящую от некоторых основных параметров и качественно отражающую основные детали структуры. Затем, минимизируя E=f(φ) по свободным параметрам, получили более точное распределение директора. При таком подходе мы можем получить лишь качественное описание поведения системы. При этом, необходимо заметить, что поскольку свободная энергия истинного распределения директора находится в абсолютном минимуме, то фазовый переход, обнаруженный при помощи анализа n®, заведомо произойдет в реальном случае.

Прежде чем анализировать полученные экспериментальные факты, хотелось бы прокомментировать ряд нюансов. Прочностные свойства плёнки ПВС ранее изучались в [3] и научно обосновывались. Кроме определения физико-механических характеристик ПВС в исходном состоянии, были изучены эти свойства при высоких температурах в ориентированном и напряженном состоянии, при УФ-и γ - облучении [4]. Несмотря на уже существующие результаты и их научной интерпретации по физико-механическим свойствам ПВС, проведенные нами исследования имеет свои характерные особенности.

В связи с этим последующие опыты были посвящены исследованию зависимости разрывной прочности от времени выдержки образцов под механическим напряжением. Были изучены композитные пленки ПВС исходный и с содержаниями компоненты НЖК 7СБ. Результаты испытаний в виде графика зависимости σ=f(t) в полулогарифмической

координате иллюстрированы на рис. 2. Механизм проведения опытов заключалась в следующем. Испытуемые пленки закреплялись к специальным зажимам и подвергались одноосному растяжению в динамическом режиме.

Как видно, для образца ПВС исходный и с плёнками состава ПВС+7СВ (25%) серии эти зависимости имеют линейный характер. Для образцов ПВС исходный (прямая 1) разрывной прочности б при высокой скорости деформирования имеет значения б=54,5 Мпа, а для медленной скорости нагружения равна б=43 Мпа. Следовательно, потеря прочности в данном режиме испытаний составляет примерно 21,1%.

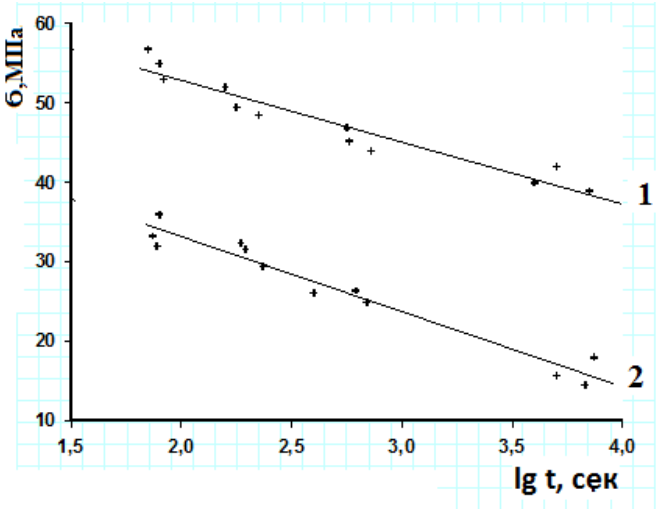


Рис. 2. Зависимость разрывной прочности от времени деформирования пленок состава: 1- ПВС исходный и 2- ПВС+7СВ 25%-ного компоненты НЖК

В случае компоненты НЖК с соотношением 25% при скоростном деформировании значение б=36 МПа, а для медленного скорости нагружения б=17,6 МПа. На этот случай потеря прочности составляет 51%. Сопоставительный анализ потери прочности для серии образцов ПВС исходный и с компонентов НЖК в составе ПВС показал, что во втором случае потеря в два раза больше.

Обнаруженный факт показывает, что из-за увеличения компоненты НЖК в составе полимерной связующей количество капель нематика как на поверхности, так и в объеме полимерной матрицы приводит к падению прочности. Равномерное распределение капель нематика способствует разрыву макромолекулы ПВС и естественно, уменьшению прочности.

Таким образом, характер изменения параметра прочности полимерной матрицы из ПВС при добавлении НЖК в качестве ингибитора имеет разнообразный характер. В зависимости от режима деформирования композитных пленок (статический или динамический) наблюдается падения разрывной прочности, причем, чем больше процентное соотношение компоненты НЖК, тем быстрее уменьшение прочности. К обнаруженному эффекту влияет размер и формы капель нематика.

Литература

1. Розенберг М.Э. Полимеры на основе поливинилацетата. Ленинград, Химия. 1983. - 174 с.

2. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. – Новосибирск, Наука. 1994. – 214 с.

3. Томашевский Э.Е., Слуцкер А.И. Устройство для поддержания постоянного напряжения в одноосно растягивающемся образце. //Заводская лаборатория, №8, 1963, С.994-996.
4. Бобоев Т.Б., Филатов В.В. Влияние физической модификации на прочность полимерных композиционных материалов. // ДАН Республики Таджикистан, 1999, т. 42, №12.–с 26 -28

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ПРОЦЕСС РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Лексовский[1] А.М., Абдуманонов[3] А.А., Азимов[2] Ш.Ш., Абдуманонова[3] Ф.А.
1 - ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, г.Санкт-Петербург. e-mail: a.leks2007@mail.ru
2 – ФТИ им С.Умарова НАНТ, г.Душанбе. e-mail: sazimov@tajik.net
3 – Худжандский Научный Центр НАНТ, г.Худжанд

В лабораторном эксперименте исследовалось влияние структурных дефектов и скорости деформации на прочность и кинетики накопления акусто-эмиссионных (АЭ) сигналов образцов горных пород. Прочность определялась методом трехточечного изгиба в условиях постоянно нарастающей нагрузки. Образцы имели параллелопипедной формы размером 20x20x160 мм. В эксперименте измеряли время от начала деформирования вплоть до разрушения образца и определяли разрушающие нагрузки. Прочность определялась по формуле $\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot a \cdot b^2}$, где F- разрушающая сила, L- длина образца, a – ширина и b – высота поперечного сечения образца. На рис.1 приведена зависимость прочности образцов гранита от логарифма времени деформирования.

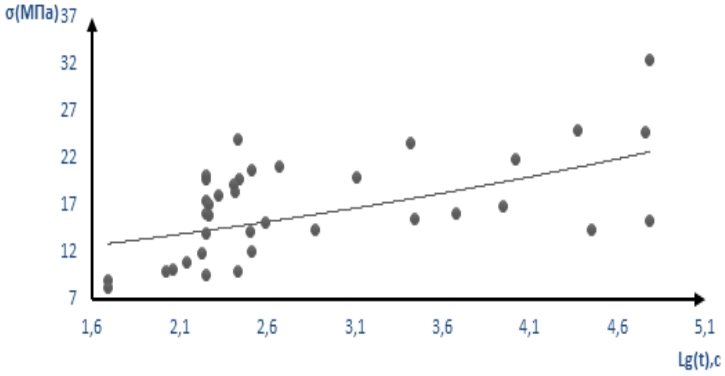


Рис. 1. Зависимость прочности от времени деформации образцов гранита в исходном состоянии.

Можно видеть, что с увеличением времени деформирования прочность образцов заметно возрастает. Так, если при больших скоростях деформиро-вания средняя прочность образцов составляет примерно 9 МПа, то при больших нарастаниях времена деформации (lgt=4,8 с) среднее значение прочности возрастает примерно до 22 МПа.

Возрастание прочности с уменьшением скорости деформации свидетельствует о том, что в объёме образцов имеется определённое количество (концентрация) исходных дефектов. При больших скоростях нагружений (когда время деформирования мало) структурные дефекты явно не способны противостоять развитию процесса разрушения. Время релаксации недостаточно. Однако, как показывает эксперимент, при возрастании время деформации прочности образцов несколько возрастает. Причиной возрастания прочности при медленном нагружении является то, что время для релаксационных процессов достаточно.

На рис.2 приведена зависимость прочности образцов гранита подвергнутых 15 термоциклам от времени деформирования. Можно видеть, что по мере роста времени деформации прочность образцов возрастает. Так, если для времени деформации ~10^2 среднее значение прочности равно примерно 11 МПа, то при времени деформации ~10^4с, среднее прочность составляет примерно 23 МПа.

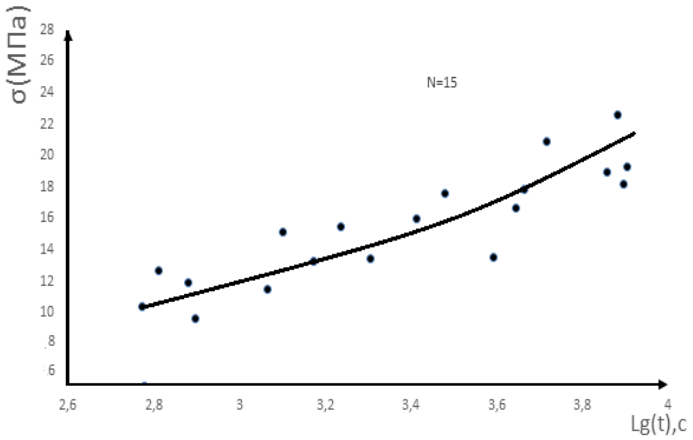


Рис. 2. Зависимость прочности образцов гранита после 15 термоциклов (20⇒250⇒20^{0}С) от времени деформации. Опыты проводились при Т=20^{0}С

Из рисунка можно видеть, что в этом случае также по мере роста времени деформации прочность образцов нелинейно возрастает. Такие же результаты для образцов прошедшие N=30 термоциклов приведены на рис.3.

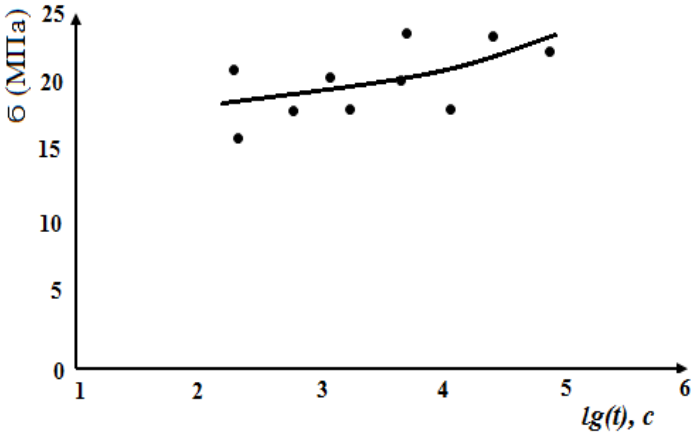


Рис. 3. Зависимость прочности образцов гранита после 30 термоциклов (20⇒250⇒20^{0}С) от времени деформации

Видно, что по мере роста времени деформации прочность образцов возрастает. В данном случае, если вначале, при lgt=2 средняя прочность ~18 МПа, то при lgt=5 прочность возрастает примерно до 24 МПа.

Известно [1], что гранит состоит из минералов разного размера и различных ориентаций. Микроскопичекие дефекты, как правило, возникают на границах элементов структуры. Дефекты в указанных границах могут возникать в результате геологических процесов, а также при выработки гранита из горных пород в карьерах. При циклическом изменении температуры в границах элементов структуры происходит изменение термоупругих напряжений.

В результате, плюс к имеющимся структурным дефектам возникают новые микродефекты. Концентрация вновь возникающих дефектов возрастает по мере роста количества термоциклов. Очевидно, эти структурные изменения могут влиять на процесс разрушения, и естественно, на значение прочности. Опыты на базе образцов цементного камня [2] и горных пород (гранит), показывают, что эти структурные дефекты в определённой мере мешают равитию микро- и макротрещин.

Микротрещина, которая возникает взрывообразно [3] при деформации гетерогенного тела, сталкиваясь с дефектами, которые имются в теле, резко уменьшает скорости развития. В некоторых случаях они могут останавливаться. В результате происходит торможение процесса разрушения, что приводит к росту вязкости разрушения и прочности материала.

На рис.4 приведён пример графика кинетики накопления сигналов АЭ от времени деформации для образцов гранита. Можно видеть, что АЭ - сигналы появляются примерно 60 с, после начала деформирования и примерно до 80 с появление сигналов относительно времени деформации остаются случайными и дисперсными.

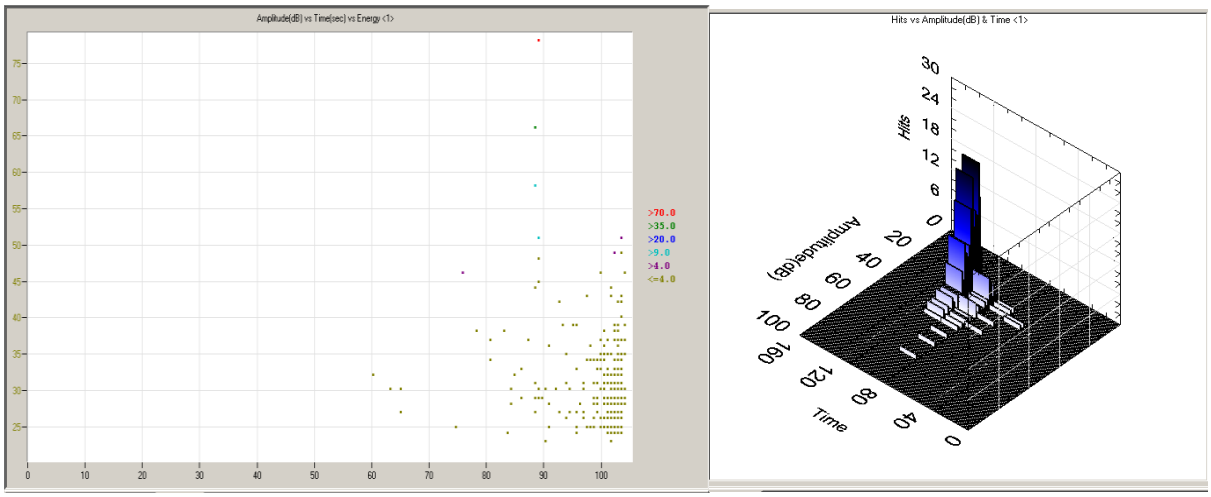


Рис.4. Зависимость амплитуды сигналов АЭ от времени деформации (А) и кинетика накопления сигналов в координатах количество-амплитуда-время (Б) для образцов гранита в исходном состоянии. $T_{эксп}$ =20^{0}С.

В дальнейшем интенсивность сигналов АЭ возрастает и в области примерно 90с, регистрируются высокоамплитудные сигналы. По мере возрастания напряжения, возрастает число сигналов, однако, затем в определённом интервале времени резко снижается числа высокоамплитудных сигналов. Можно полагать, что в этом промежутке в областях появлении микротрещин происходит релаксационный процесс. Далее в промежутке до 100 с, наблюдается возрастание активности АЭ - сигналов и этот процесс, наконец, приводит к разрушению образца. Эти же результаты на рисунке приведены в координатах число-амплитуда-время возникновения АЭ сигналов.

На рис.5 приведен картина кинетика накопления АЭ сигналов, по мере деформирования термоциклированных образцов гранита.

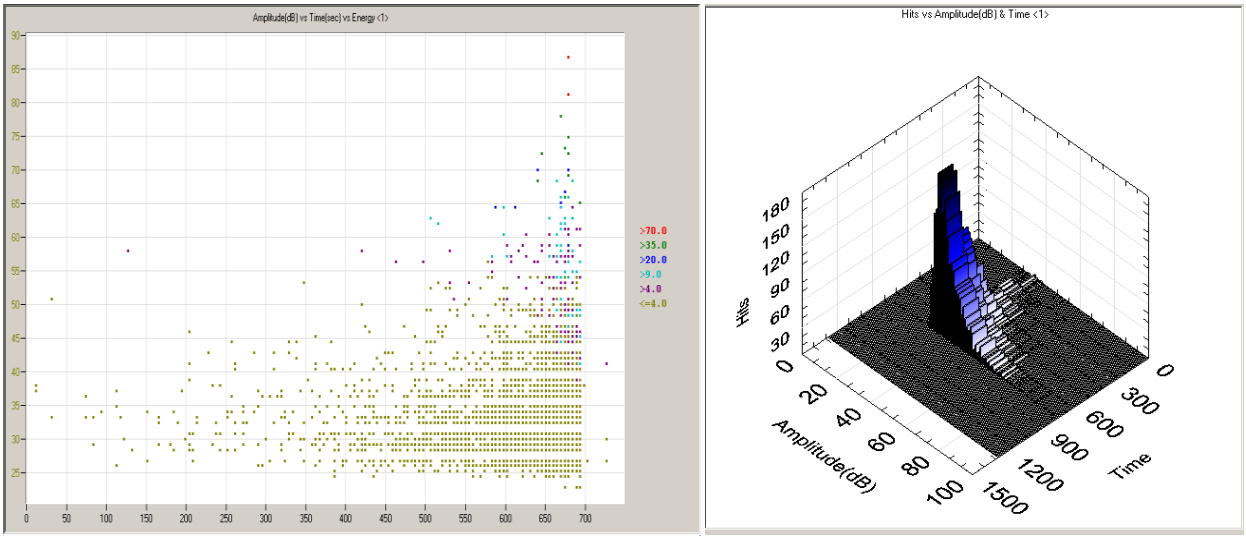


Рис.5. Зависимость амплитуды сигналов АЭ от времени деформации (А) и кинетика накопления сигналов в координатах количество-амплитуда-время (Б) для образцов гранита после 30 термоциклирования. $T_{эксп.}=20^0C$.

Можно видеть, что в этом случае сигналы АЭ возникают уже на ранних этапах деформирования. Эти сигналы в основном низкоамплитудные. Примерно до 200 с деформирования АЭ сигналы относительно времени деформирования дисперсны. Далее активность сигналов несколько возрастает, и, до примерно 420 с остаётся постоянной. В дальнейшем по мере роста механического напряжения, наряду с большим числом низкоамплитудных, появляется небольшое число высокоамплитудных сигналов. Это свидетельствует о появлении микротрещин относительно большого размера. Далее по мере роста напряжения в области 650 с, наблюдается рост интенсивности АЭ сигналов. Можно видеть, что эта тенденция завершается примерно в области 670-680 с. На последнем этапе жизни образца в процессе накопления сигналов обнаруживается два-три высокоамплитудных сигналов. После этого интенсивность накоплении сигналов несколько снижается и, наконец, образец разрушается.

В рис.5Б эти же результаты представлены в координатах количество-амплитуда-время деформации. Такое представления позволяет более правильно анализировать процесс разрушения. Таким образом, как показывает эксперимент, если на начальных этапах деформировании основное число сигналов имеют низкую и среднюю амплитуду, то в конце жизни образца, (на последнем этапе деформации) на фоне большого числа низкоамплитудных сигналов возникает небольшое число высокоамплитудных сигналов.

Сравнительный анализ зарегистрированных спектров АЭ - сигналов, которые возникают при деформации образцов в исходном состоянии и образцов после термоциклирования, показывает, что (рис.4 и 5) при деформировнии термоциклированных (более повреждённых) образцов, **во-первых,** общее количество сигналов возрастает по сравнению с исходными образцами. Отсюда следует, что накопленная энергия упругой деформации в образцах в исходном состоянии в момент разрушения по сравнению с термоциклированными образцами сравнительно мала.

Во-вторых трещинообразование (АЭ - звучание) в термоциклированных образцах начинается уже в начале деформирования. Вероятно, в слабых местах в границе элементов структуры гранита образуются микротрещины. Это приводит к тому, что время деформирования, или «живучесть» термоциклированных образцов, по сравнению с исходными образцами заметно возрастает. Возрастание времени разрушения образцов подвергнутых термоциклированию, по сравнению с исходными при одинаковой скорости деформирования означает снижение скорости разрушения «повреждённых» образцов.

Причиной торможения процесса разрушения в термоциклированных образцах являются дефекты (микро- мезотрещины), которые возникают в границах раздела элементов структуры в результате термоциклирования. Из общих соображений можно представить следующую картину развития процесса разрушения. Вновь образующиеся микротрещины, сталкиваясь с имеющимися дефектами, быстро затупляются и, зачастую, происходит их остановка. Это, очевидно, приводит к возрастанию вязкости разрушения образца. Отсюда следует, что сам факт предварительного накопления дефектов в теле никак не может быть аргументом приближения катастрофического разрушения.

Структурные изменения, которые происходят в материале при деформировании, вплоть до дискретных преобразований, являются возможными путями сохранения целостности гетерогенного тела. В каждом дискретном структурном изменении испускается порция энергии упругой деформации. И эта энергия поглощается окружающим объёмом. При этом, работа внешних сил аккумулируется во внутренней энергии деформируемого тела. Если в локальном объёме, где происходят такие микроскопические катастрофы, материал ещё способен поглощать эту порцию энергии (в материале ещё имеются возможные каналы диссипации энергии без макроразрушения), то процесс деформирования может продолжаться. Этот процесс, т.е. процесс энерговыделения и энергопоглощения материала может продолжаться до тех пор, пока всевозможные каналы диссипации энергии упругой деформации (при данных условиях деформирования) в объёме тела не будет исчерпаны.

На последнем этапе, то есть за секунды до макроразрушения, отмечается сходство в поведении исходных и термоциклированных образцов, которое выражается в появлении сигналов АЭ максимальных амплитуд. Это и свидетельствует о повышенном выделении энергии упругой деформации, ведущем к макроразрушению образца. Следовательно, переход от микро- к макроразрушению начинается там и тогда, когда в данном микрообъёме выделившаяся энергия упругой деформации не может быть диссипирована окружающим материалом.

Здесь уместно обратить внимание на то, что в литературе на вопрос о роли микроповреждения на процесс разрушения (на кинетику развития разрушения) априори - без особых доказательств, полагали, что накопленные микроповреждения однозначно приводят к ускорению разрушения, к снижению прочности гетерогенного материала. Однако, как показывают эксперименты, такое однозначное толкование не совсем верно. Необходимо, при этом, учитывать особенности взаимодействия вновь образующихся дефектов со структурой, в том числе, с имеющимися повреждениями.

Список литературы

1. Лексовский А.М., Боровиков В.А., Бозоров Н.С., Абдуманонов А.А. Обнаружение микротрещин в образцах горных пород с помощью люминесцентной микроскопии. // Письма в ЖТФ, т.22, 1996, вып.3, С.6-9.

2. Абдуманонов З.А., Абдуманонов А.А., Атоева Ҷ.И. Таъсири сохтор ва суръати деформатсия ба мустаҳкамї ва вайроншавии маводҳои таркибї. //Номаи Донишгоҳ (ДДХ). Силсилаи илмҳои табиатшиносї ва иктисодї. 2017, №1, С.85-92.
3. Leksovski A.M. Microcracks, damage and fracture in solids. Lectures on Institute of Fundamental Technol. Res., Polish Acad. of Sci., 1995, -58 p.
4. Абдуманонов А.А., Азимов Ш.Ш., Юсупов З.Н., Петухов В.Н., Абдуманонов З.А. Влияние термоциклов на процесс разрушения адгезионного контакта. //Доклады АН Республики Таджикистан, 2012. Т.55, №9, С.728-732.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА ИК-СПЕКТР БАКТЕРИЙ RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ и PHOSPHATICUM

Махсудов Б.И., Муллоев Н.У., Нигораи З.
Таджикский национальный университет
nzaydullo@mail.ru

Известно, что в отличие от ионизирующего излучения, при взаимодействии нейтронов с веществом происходит процесс радиационного захвата нейтронов ядром атомов, входящих в состав этого вещества [4]. Кроме этого, существуют различные процессы, связанные с упругими и неупругими рассеяниями нейтронов в ядре атомов. Поэтому, вероятность нейтронно-стимулированных структурных превращений в биологических объектах зависит от сечения захвата нейтронов различными ядрами атомов данного вещества. С этой точки зрения, излучение влияния тепловых нейтронов на свойства биологических систем является интересной научной задачей.

В работе [1,2], на примере изменения характеристик бактерии Rhizobium phaseoli IS TAAS-80 TJ под действием тепловых нейтронов, было выявлено эффект улучшения биологической активности, а также увеличении показателя выживаемости бактерий при определённых потоках тепловых нейтронов (гормезис).

Для выявления физических механизмов и возможных яднрных реакций приводящик к эффекту гормозиса при взаимодействии малых потоков тепловых нейтронов с биобактериями в данной работе было проведено исследование ИК-спектров этих объектов. Целью работы является изучение влияния малых потоков тепловых нейтронов на спектральные особенности азот фосфорафиксирующих бактерий RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ и PHOSPHATICUM предназначенных для применения в производстве микроудобрений.

Представители рода бактерий RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ и PHOSPHATICUM фиксируют молекулярный азот и фосфора из атмосферы вступая в ассоциацию с растением. Для данного эксперимента важным является то, что имеется в наличии большего количества атомов азота и фосфора в бактерии.

Бактерии RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ и PHOSPHATICUM были выращены общеизвестным методом из клубинок фасоли и кукурузного рыльца. Данные штаммы активно фиксируют атмосферный азот и фосфора, обладают высокой симбиотической способностью, стимулирует рост, развитие и может обеспечит высокую урожайность растений.

В настоящее время, одним из эффективных способов изучения физико-химических свойств биологических объектов, является метод молекулярной спектроскопии, в частности инфракрасная (ИК) спектроскопия. Данный метод даёт возможность получить информацию об относительных положениях молекул, а также определить характер связи между ними, что является важным при изучении структурно-информационных свойств биообъектов.

Известно, что молекулярная структура и физико-химические свойства бактерии определяют их биологическую эффективность. В связи с этим, в данной работе, в начале методом ИК- спектроскопия, проводилась исследование молекулярной структуры бактерий. Измерения спектров проводились на инфракрасном спектрофотомере IRAffinity-1 с преобразованием Фурье в диапазоне частот 4000–400 см$^{-1}$. с использованием методики прессования образца с бромидом калия.

Пример ИК-спектров азотобактер приведена на рис.1.

Из рисунка 1 видно, что в спектре в области 4000-400 см$^{-1}$ наблюдаются много полос различной формы и интенсивности, что свидетельствует о наличие разнообразных функциональных групп. В таблице 1 приведены наблюдаемые полосы поглощения в этих ИК-спектрах и их отнесение.

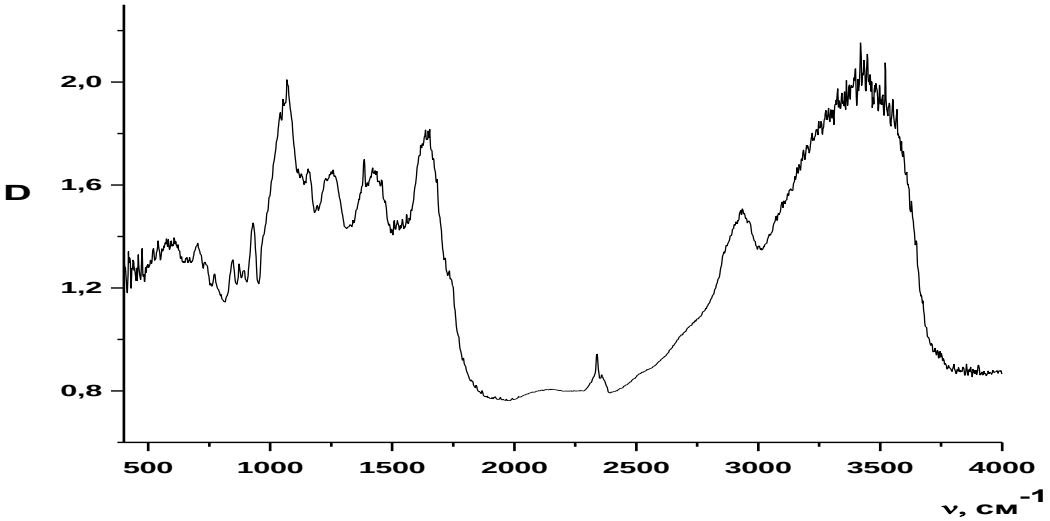


Рис. 1. ИК-спектр бактерии RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ

Таблица 1.

Частота, см$^{-1}$	Относение полос
3430	Валентные колебания ОН групп, связанные водородными связами
2960	Антисимметричные валентные колебания связи С-Н метильной группы (ν_{as} CH_3)
2936	Антисимметричные валентные колебания связи С-Н метиленовых групп (CH_2) (ν_{as} CH_2)
2891	Симметричные валентные колебания связи С-Н метильной группы (ν_s CH_3)
2860	Симметричные валентные колебания связи С-Н метиленовых групп (CH_2) (ν_s CH_2)
1730	Валентные колебания карбонильных групп (ν C=O)
1645	Скелетные колебания ароматических структур, валентные колебания сопряженных углеродных двойных связей С= С и т.д.

1460	Асимметричные деформационные колебания связи С-Н в метиленовых групп (CH_2) (δ_s CH_2)
1425	Асимметричные деформационные колебания связи С-Н в метиленовых групп (CH_2) (δ_s CH_2)
1385	Симметричные деформационные колебания связи С-Н в метильной группы (δ_s CH_3)
1260	(ν_{c-o}), спиртов, сложных эфиров и (δ_{O-H}) связей спиртов и фенолов
1225	(ν_{c-o}), спиртов, сложных эфиров и (δ_{O-H}) связей спиртов и фенолов
1157	
1127	Валентные колебания связей С-О углеродов, спиртов, циклических и алифатических эфиров
1065	
930	Веерное колебание N-H
890	
870	
846	
771	Маятниковые колебания (CH_2) n- фрагментов с $n \geq 4$
730	
702	Валентным колебаниям, относящимся к связи С-S
605	Валентные колебания S-S- связей

Для количественной оценки интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах и относительный концентрации функциональных групп в высокомолекулярных соединениях используются относительные оптические плотности. Известно, что высокая интенсивность полос поглощения связана с о большим содержанием функциональных группы в молекуле.

В данной работе относительная количественная оценка содержания функциональных групп по данным ИК-спектроскопии дана на основании отношений оптических плотностей полос поглощения (ОППП) кислородсодержащих функциональных групп (υОН 3400 см$^{-1}$, $n_{C=O}$ 1720 см$^{-1}$, n_{C-O}, С-О-С 1225 см$^{-1}$, n_{C-O} 1035 см$^{-1}$) к оптическим плотностям полос поглощения, соответствующим ароматическим (1610 см$^{-1}$) и алифатическим (2920 см$^{-1}$) фрагментам структуры. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

ОППП (D)	
D_{3430}/D_{1635}	1.13
D_{1730}/D_{1645}	0.75
D_{1225}/D_{1645}	0.9
D_{1065}/D_{1645}	1.11
D_{2936}/D_{1645}	0.84
D_{3430}/D_{2936}	1.34
D_{1730}/D_{2936}	0.89
D_{1225}/D_{2936}	1.06
D_{1065}/D_{2936}	1.31
D_{1065}/D_{1730}	1.47
D_{1645}/D_{2936}	1.18

Из представленных в таблице результатов видно, что ОППП алифатических фрагментов структуры к ароматическим ($D_{алкил\ 2936}/D_{C=C\ 1645}$) меньше единицы, что говорит о преобладании ароматическая составляющая над алкильными. Наблюдается высокое

содержание гидроксильных групп: $D_{O\text{-}H3430}/D_{C=C1645}$ >1. Содержание гидроксильные группы преобладает над алкильными фрагментами, поскольку $D_{O\text{-}H3430}/D_{Салк2936}$ >1. Кроме того наблюдается большое содержание алкильными заместителями чем карбоксильных групп ($D_{C=O1730}/D_{Салк2936}$ <1).

Методом ИК-спектроскопии установлены основные характеристические максимумы полос поглощения биобактерии. Наблюдаемые характеристические пики подтверждает двучленность молекул биобактерии, состоящих из ароматической и алифатических цепей. Для данной бактерии наблюдается максимальное преобладание гидроксильных, карбонильных групп над ароматической и алифатической частью, а также максимальное преобладание ароматической части над алифатической.

После подборки образцы облучались тепловыми нейтронами от Pu-Be- источника при различных потоках нейтронов ($1.8\cdot10^6$ нейтрон/см^2 до $1.3\cdot10^8$ нейтрон/см^2). Для получения тепловых нейтронов между источником и образцом размещали парафиновый слой толщиной 5 см.

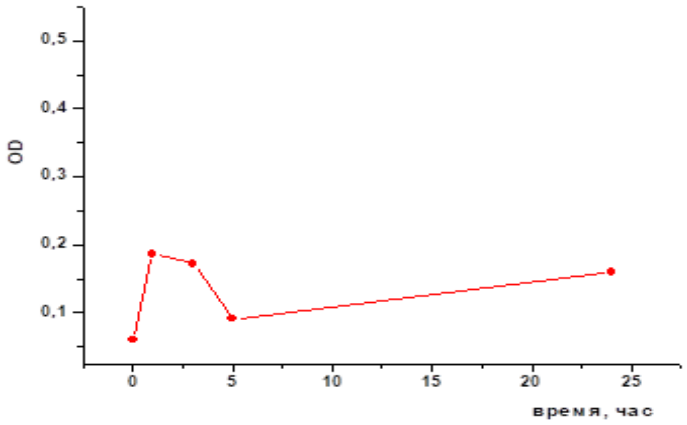


Рис. 2. Зависимость оптической плотности полосы поглощения 1384 см$^{-1}$ ИК-спектра RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ от времени облучения тепловыми нейтронами.

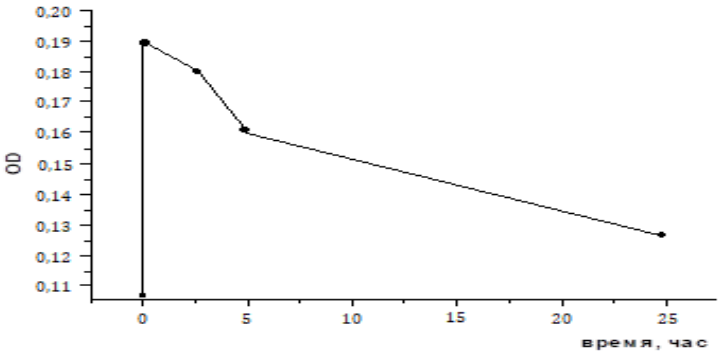


Рис. 3. Зависимость оптической плотности полосы поглощения 1384 см$^{-1}$ ИК-спектра PHOSPHATICUM от времени облучения тепловыми нейтронами.

Опыты были проведены в трехкратном повторении. Облучении бактерий тепловыми нейтронами проводились с длительностью 1-72 часов при температуре 28 °С. Наблюдении проводились в течении каждого часа.

На рис. 2 и 3 представлены экспериментальные результаты зависимости оптической плотности полосы 1384 см$^{-1}$ ИК –спектров RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ (рис. 2) и PHOSPHATICUM (рис. 3) от времени облучения. Видно, что при определённом потоке

тепловых нейтронов оптическая плотность данной полосы для обоих бактерий увеличивается и эта зависимость имеет явный максимум. Следует отметит, что при этих значениях потока тепловых нейтронов биологическая активность бактерий увеличивается [2].

Таким образом, по результатам данной работы можно заключить, что наблюдается корреляция между увеличением биологической активностью и увеличением оптической плотности некоторых полос поглощения в ИК-спектре бактерий RHIZOBIUM PHASEOLI IS TAAS-80TJ и PHOSPHATICUM при облучении малым потоком тепловых нейтронов.

Литература

1. Махсудов Б.И., Нигораи З.. Эффекты при взаимодействии малых потоков тепловых нейтронов с веществом // Вестник ТНУ. №1. 2020. С.94-107.
2. Махсудов Б.И., Нигораи З.. Сравнительное изучение влияния малых потоков тепловых нейтронов на скорость активации бактерий RHIZOBIUM IS TAAS-80 TJ и PHOSPHATIUM // –Худженд; ГУХ имени Б.Гафурова. 2021. с.144-147.

ELECTRONIC AND GEOMETRICAL PROPERTIES OF MN^{4+} DOPED A_2XY_6 (*A*= K, RB, CS; *X*= SI, TI, NI, GE, SE, PD, SN, HF; *Y*=F, CL) PHOSPHORS

Mekhrdod Subhoni[1,2,3]*, Umar Zafari[2], Alok M. Srivastava[4], Mikhail G. Brik[5,6,7] and Tomoyuki Yamamoto[2,8,9]

[1] *Kagami Memorial Research Institute for Materials Science and Technology, Waseda University, Tokyo, Japan*
[2] *Center of Innovative Development of Science and New Technologies, National Academy of Sciences of Tajikistan*
[3] *Physical Technical Institute, National Academy of Sciences of Tajikistan*
[4] *GE Current, a Daintree company, 1099 Ivanhoe Road, Cleveland, Ohio 44110, USA*
[5] *Institute of Physics, University of Tartu, Tartu 50411, Estonia*
[6] *College of Sciences & CQUPT-BUL Innovation Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications*
[7] *Institute of Physics, Jan Długosz University, Armii Krajowej 13/15, PL-42200 Częstochowa, Poland*
[8] *Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo 169-8555, Japan*
[9] *Institute of Condensed-Matter Science, Waseda University, Tokyo 169-8555, Japan*
e-mail: mehrdodq@gmail.com

Design of new inexpensive and high efficient red phosphor materials with strong blue absorption into the commercial white LED system, as red luminescence center, is important [1,2]. However, the amount of rare-earth elements in the earth is small, rare-earth free phosphor materials have been strongly demanding for white LED, and therefore such materials have been extensively investigated these years. On the other hand, 3d transition elements are also good dopants for such purpose, in which Mn^{4+} is the best candidate for the red-emitting rare-earth free phosphor in the coming generation. The optical properties of Mn^{4+}-doped phosphors are of continuing interest for applications in the difference fields, especially in lighting. Red-emitting Mn^{4+}-doped fluorides have attracted considerable interest [3]. as a promising class of phosphors to improve the color rendering and luminous efficacy of w-LEDs [4].

The relationship between the structure properties and electronic structure can allow in determining the nature Mn^{4+} $^2E \rightarrow {}^4A_2$ emission energy in solids [5]. There would be show the behaviour of 10*Dq* crystal field strength and red emission energy $^2E \rightarrow {}^4A_2$ of Mn^{4+} ions in different fluorides and chlorides hosts A_2XY_6 (*A*= K, Rb, Cs; *X*= Si, Ti, Ni, Ge, Se, Pd, Sn, Hf; *Y*=F, Cl).

The present work extends our previous work on finding how material properties of hosts affect to the 10*Dq* crystal field strength and Mn^{4+} red emission energy $^2E \rightarrow {}^4A_2$ in Mn^{4+} doped A_2XY_6 fluorides and chlorides. We have performed the host dependence investigation of geometrical and electronic structures of Mn^{4+} in the A_2XY_6 to explore relationship between these two factors. The effect of Mn^{4+} ion to structural properties of the hosts was investigated and the relationships between Mn^{4+}-ligand bond-length and the $^2E \rightarrow {}^4A_2$ transition energies and 10Dq are studied in detail.

References

[1] R. Xie, N. Hirosaki, K. Sakuma, and N. Kimura. *J. Phys. D Appl. Phys.*, 41, 144013, (2008)
[2] P. F. Smet, A. B. Parmentier, and D. Poelman. *Journal of The Electrochemical Society* 158 (6), R37-R54, (2011).
[3] S. Adachi, J. Lumin. 202, 263-281 (2018).
[4] S. Adachi, J. Lumin. 218, 116-829 (2020).
[5] M. Subhoni, U. Zafari, A. M. Srivastava, W. W. Beers, W. Cohen, M. G. Brik and T. Yamamoto. *Opt. mater.* 115,110986, (2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ГОРЕЦ ПТИЧИЙ (POLUGONUM AVICULARE L.) МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ

Давлатмамадова С.[1,2], Муллоев Н.У[2]., Шукуров Т[1].
[1]*Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана*
[2]*Таджикский национальный университет*

Последнее десятилетие в результате человеческой деятельности антропогенные факторы на земном шаре существенно изменилась. Следовательно, под воздействием антропогенных факторов окружающей среды в лекарственных растениях могут происходить изменения физико-химические свойства на молекулярном уровне [1]. .

Настоящая работа посвящена исследованию спектральных свойства составных частей (листьев, стебли и корневище) лекарственного растения горец птичий (*POLUGONUM AVICULARE L.*), методом ИК- спектроскопии. Образцы были собраны вдоль (А) и вдали (Б) автомагистрали в городе Душанбе (803 м ур. моря), столице Республики Таджикистана Образцы подготавливались для записи ИК-спектров, согласно [2]. Запись ИК-спектров проводились в диапазоне частот 4000 – 400 $см^{-1}$ [2].

Всем исследованным образцам органов растений, в области частот 3800 – 2500 $см^{-1}$ характерна широкая интенсивная полоса поглощения ОН – групп с максимумами (табл.1), связанные с поглощением меж–и внутримолекулярных водородных связей. На низкочастотной крыле полосы ОН-групп, при 3000-2800 $см^{-1}$ наблюдается слабая и узкая полоса СН – групп (табл.1). В спектре образцов листьев (А), максимум полоса ОН-групп наблюдает при (табл.1), в спектре (Б) полоса ОН-групп расщеплена на дуплет.

Для ИК-полос поглощений проявляющие в области частот 1800- 400 $см^{-1}$ наблюдается деформационных колебаний ОН, СН – групп и др., также наблюдаются изменении форм, положения $\nu_{макс.}$ и интенсивностей полос поглощений. В спектре образцов (А и Б), в данной

области частот наблюдаются три чётких полос (табл. 1). между полосами при 1600 - 1000 см$^{-1}$ наблюдаются след пять очень слабых полос. Полоса при 1000 см$^{-1}$ в спектре корневища, в области максимума расщеплена на слабый дуплет. У самой низкочастотной полосы при 550 (+-50) см$^{-1}$, на высоко и низкочастотной полосы 715 и 490 см$^{-1}$ наблюдается следы полос.

Таблица 1

Положения $\nu_{макс.}$ органов лекарственного растения горец птичий

Вдоль (А)			Вдали (Б)		
Листьев	стебли	корневища	листьев	стебли	корневища
3320 3286	3400 сд. 3350 сд. 3300	3390 сд 3230 3195 сд	3400 3280	3325	3342 о.сл 3300
2900	2896	2880	2900	2890	2900
1600	1586	1680	1600	1590	1584
1480	1474	1492	1500 сд	1482 о.сл	1464 сд
1394 о.сл	1400	1320 сд.	1400 о.сл	1400 о.сл	1400 о.сл
1330 о.сл	1312	1286	1330 о.сл	1310 о.сл	1300 о.сл
1325 о.сл	1308	1200	1280 о.сл	1280	1212
1270 о.сл	1204	1060	1200 о.сл	1200 о.сл	1050 сд.
1200 о.сл	1000	982	1000	1000	1000 сд
1000	710 сд.	540	725 о.сл	.712 о.сл	520
700 сд.	530		600	550	
550			490 сд		

Известно, что корневища растения играет определяющую роль в формировании хозяйственно ценные свойства – продуктивности растения. Корневище растений также играют важную роль для транспорта питательных веществ и роста растений. В настоящей работе изучены ИК-спектры корневища лекарственного растений, произрастающих в различных экологических условиях. В спектре образцов (1), максимум полосы поглощения ОН – групп, наблюдается при 3230 см$^{-1}$. На высокочастотной крыле полосы при 3196 см$^{-1}$ наблюдается следы полосы, на низкочастотной крыле проявляется очень слабая полоса поглощения CH_2 –групп, при 2860 см$^{-1}$.

Корневище растений важную роль играют для транспорта питательных веществ и роста растений. В спектре образцов (1), максимум полосы поглощения ОН – групп наблюдается при 3230 см$^{-1}$, на низкочастотной крыле при 3200 см$^{-1}$ видна следы полосы, а также очень слабая полоса поглощения CH_3 –групп при 2870 см$^{-1}$.

Приведенные группа в спектре образцов (2) в области, максимума расщеплена на очень слабый дуплет при 3300 и 3340 см$^{-1}$, полоса СН – групп наблюдается рпи 2900 см$^{-1}$.

Для ИК полос поглощений проявляющие в области частот 1800–400 см$^{-1}$ в спектрах образцов корневище, также наблюдаются заметные различие форм, положений $\nu_{макс.}$ и интенсивности полос поглощений. В спектре образцов (1,2), наблюдаются три полосы, различающийся по форме, положение $\nu_{макс.}$ и интенсивности. Между полосой при 1585 и 900 см$^{-1}$ в спектре листьев наблюдаются пять очень слабых полос, $\nu_{макс.}$ которых приведены в (табл.1). В спектре листьев самой низкочастотная полосы при 600 см$^{-1}$, на высоко и низкочастотной крыле при 726 и 480 см$^{-1}$ наблюдаются очень слабые полосы.

Таблица 2

Положение $\nu_{макс.}$ органов горец птичий после катионообмена

Листьев		Стебли		Корневища	
Вдоль	Вдали	Вдоль	Вдали	Вдоль	Вдали
3330 3160	3340 3200	3290	3380 о.сл 3324 3190 о.сл	3185 сд. 3230	3304 сд. 3282 сд.
2895	2876	2882	2890	2840	2872
1600	1595	1562	1590	1565	1723 сд. 1650
1496 сд.	1472	1463 о.сл	1465 о.сл	1385 о.сл	1520 о сл
1400 о.сл.	1315 о.сл 1272 о.сл 1160	1370 о.сл	1388	1300	1425 сд. 1400 о.сл 1350 сд.
1322 о.сл. 1280 о.сл.	995	1300	1312 о.сл 1286о.сл	1196	1345
1070 1000 сд.	755 сл.	1194	1195	1000	1145
725	520	974	1063		560
560	440	514	1000	500	
463			542 сд. 442 сд.		

Сравнительный анализ полученных ИК-спектров лекарственного растения горец птичий, собранные из разных местностей показывают на различие микрофункциональных групп. Это свидетельствует о влияния антропогенных факторов места произрастания на процесс биосинтеза молекулярной структур растительных организмов, в первую очередь на систему меж– и внутримолекулярных водородных связей, и, следовательно, может также влиять на их лечебные свойства

Литература

1. Ильяшенко Н. В. Влияние антропогенного фактора на химический состав лекарственного и кормового растительного сырья. Автор.канд. дис. Тверь, 2012 г., 32 с.

2. Смит А. Прикладная ИК спектроскопия. /А. Смит –М. // Мир. 1982.-С.327

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА С УЧЁТОМ ДИССИПАЦИИ

Солихов Д. К., Рахмонов С.С.

Термин солитон был введен для описания нелинейных уединенных волновых (локализованных) решений интегрируемых уравнений, таких как нелинейное уравнение Шредингера. Физика нелинейных явлений активно развивается примерно с середины прошлого века, когда возникло понятие солитона, то есть уединенной волны, способной двигаться в нелинейной среде практически не рассеивая свою энергию и сохраняя свою индивидуальность при столкновении с другими солитонами [1,2]. Солитоны устойчивы по

отношению к малым возмущениям и могут переносить энергию на значительные расстояния благодаря тому, что нелинейность среды компенсирует явление дисперсии, ответственное за расплывание волновых пакетов. Классические солитоны движутся в непрерывной среде и описываются нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, такими как нелинейное уравнение Шредингера и другие.

Изучено нелинейные уравнения Шредингера который играет очень важную роль в науке, проявляющая во многих разделах физики и является одной из наиболее важных нелинейных математических моделей в оптике и применяется в оптической обработке сигнала, передаче информации, сжатие импульсов, формирование оптических сигналов, частотных преобразователях и различных нелинейных оптических устройствах. Многие из этих приложений основано на существование устойчивого решения нелинейного уравнения Шредингера в виде фундаментального солитона.

Рассмотрим нелинейное уравнение Шредингера вида

$$i\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial t}+\frac{3}{2}\omega_{le}d_e^2\frac{\partial^2 \mathrm{E}}{\partial r^2}+\frac{\omega_{le}}{16\pi n\mathrm{T}_e}\left|\mathrm{E}\right|^2\mathrm{E}+\gamma\mathrm{E}=0 \tag{1}$$

В случае физического волокона, физический смысл коэфицентов в уравнения (1) следующий: $\omega_{le}-$ ленгмюровская частота, k-волновое число, $\gamma-$диссипация d_e- дебаевский радиус взаимодействия $d_e=\dfrac{\vartheta_e}{\omega_{le}}$, где $\vartheta_e=\sqrt{\mathrm{T}_e/m_e}$, T_e-температура электронов измеряется в энергетических единицах [3,4].

Решение уравнение (1) будем искать в следующем виде

$$\mathrm{E}=\widetilde{\mathrm{E}}(r,t)e^{i\left[-(\omega-\omega_{pe})t+kr\right]} \tag{2}$$

где $\widetilde{\mathrm{E}}(r,t)-$выделенный энергии поля и при подстановке (2) в уравнение (1) получим:

$$i\frac{\partial\widetilde{E}}{\partial t}+\left[\omega-\omega_{le}-\frac{3}{2}\omega_{le}k^2d_e^2+\gamma\right]\widetilde{\mathrm{E}}+\frac{3}{2}\omega_{le}d_e^2\frac{\partial^2\widetilde{E}}{\partial r^2}+3ik\omega_{le}d_e^2\frac{\partial\widetilde{E}}{\partial r}+\frac{\omega_{le}}{16\pi nT_e}\left|\widetilde{\mathrm{E}}\right|^2\widetilde{\mathrm{E}}=0. \tag{3}$$

Далее представим уравнение (3) в виде уединенных волн, т.е. $\xi=r-\vartheta_g t,$ где $r-$ пространственный переменный, ϑ_g –это групповая скорость изучаемой волновой пакеты. Тогда в этом случае уравнение (3) принимает следующий вид:

$$-i\vartheta_g\frac{\partial\widetilde{E}}{\partial\xi}+\left[(\omega-\omega_{pe})-\frac{3}{2}\omega_{le}k^2d_e^2+\gamma\right]\widetilde{\mathrm{E}}+\frac{3}{2}\omega_{le}d_e^2\frac{\partial^2\widetilde{E}}{\partial\xi^2}+3ik\omega_{le}d_e^2\frac{\partial\widetilde{E}}{\partial\xi}+\frac{\omega_{le}}{16\pi nT_e}\left|\widetilde{\mathrm{E}}\right|\widetilde{\mathrm{E}}=0. \tag{4}$$

Отсюда, очень просто можно определить явный вид частота и групповая скорость волнового пакета.

$$\omega=\omega_{le}(1+\frac{3}{2}k^2d_e^2);\qquad \vartheta_g=\frac{\partial\omega}{\partial k}=3k\omega_{le}d_e^2.$$

Учет групповой скорости и уединенных волн в уравнение (4), сводит данного уравнения к стационарному уравнению следующею вида в будущем, мы пропускаем тильдой в E:

$$\frac{3}{2}\omega_{le}d_e^2\frac{\partial^2E}{\partial\xi^2}+\left[(\omega-\omega_{le})-\frac{3}{2}\omega_{le}k^2d_e^2+\gamma\right]\mathrm{E}+\frac{\omega_{le}}{16\pi nT_e}\left|E\right|^2E=0. \tag{5}$$

Для получения солитонных решений уравнение (5) мы несколько преобразуем его вид, и поэтому умножим обе части этого уравнения на величину E_{ξ} и проинтегрируем по всему пространству ξ. Отметит, что солитон, строго говоря это лишь частное решение уравнения вида [5]:

$$\frac{3}{2}\omega_{le}d_e^2(\mathrm{E}')^2+\left[(\omega-\omega_{le})-\frac{3}{2}\omega_{le}k^2d_e^2+\gamma\right]\mathrm{E}^2+\frac{\omega_{le}}{16\pi nT_e}|E|^4=0. \tag{6}$$

Решения полученного уравнения, можем написать.

$$\mathrm{E}=\frac{\mathrm{E}_{\max}}{ch\alpha\xi}=\frac{\mathrm{E}_{\max}}{ch\left\{\left[\frac{1}{d_e}\sqrt{\frac{2\gamma}{3\omega_{le}}+\frac{\mathrm{E}_{\max}^2}{24\pi n\mathrm{T}_e}}\right](r-\vartheta_g t)\right\}} \tag{7}$$

Общее решение уравнения (1), с учетом соотношения в виде (7) имеет следующий вид

$$\mathrm{E}(x,t)=\frac{\mathrm{E}_{\max}}{ch\left\{\left[\frac{1}{d_e}\sqrt{\frac{2\gamma}{3\omega_{le}}+\frac{\mathrm{E}_{\max}^2}{24\pi n\mathrm{T}_e}}\right](r-\vartheta_g t)\right\}}e^{i[-(\omega-\omega_{le})t+\kappa r]}. \tag{8}$$

Если $\gamma\succ\frac{\mathrm{E}_{\max}^2}{24\pi n\mathrm{T}_e}$, тогда уравнения (8) имеет следующий вид

$$\mathrm{E}(x,t)=\frac{\mathrm{E}_{\max}}{ch\left\{\left[\frac{1}{d_e}\sqrt{\frac{2\gamma}{3\omega_{le}}}\right](r-\vartheta_g t)\right\}}e^{i[-(\omega-\omega_{le})t+\kappa r]}. \tag{9}$$

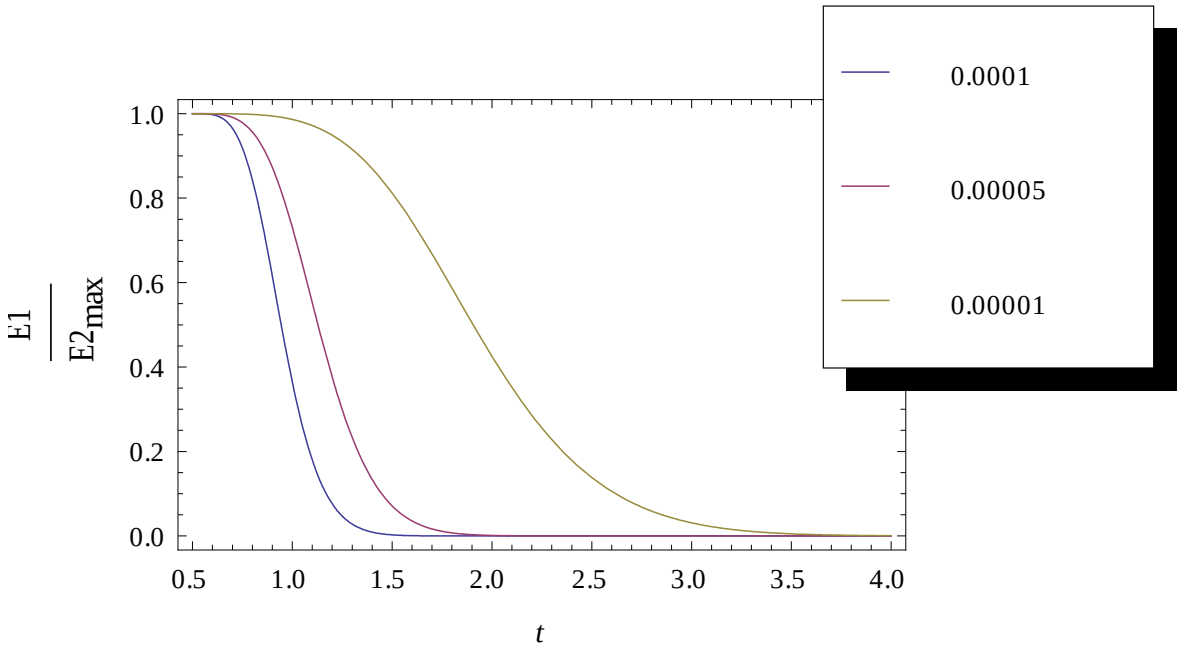


Рис.1.Зависимости $\left|\frac{\mathrm{E}1}{\mathrm{E}2_{\max}}\right|^2$ от время t при разных диссипации γ.

В заключении следует отметить, что эволюция временных солитонов с учетом уменьшение диссипации плотность энергия солитона увеличиваться.

Литература
1. Ахмедиев Н.Н., Анкевич А.А., Диссипативные солитоны. - М.: Физматлит, 2008. с. 504.
2. Маханьков В.Г. Солитоны и численный эксперимент. - ЭЧАЯ, 1983, т.14, в.1, с.123-180.
3. Абдуллоев Х. О., Рахмонов С. С. Нелинейные волновые образования в диспергирующих средах. - ДАН РТ, 2019, Т.62, №3-4, с.187-192.
4. Абдуллоев Х.О., Маханьков В.Г., Рахимов Ф.К. Введение в теорию солитонов. Душанбе, 2006 г, 167с.
5. Солихов Д.К., Рахмонов С.С. – Решение нелинейные уравнение Шредингера в рамках легкоосной модели Гейзенберга и поведение пакетов спиновых волн. Материалы 7 – й международной конференции современные проблемы физики. – Душанбе 2020, с.84 – 85.

УПРУГИЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Комилов К., Зарифзода А.К., Убайди А.
Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан
E-mail: afzal.z@mail.ru

Управление физическими свойствами жидкостей и полимеров с помощью внешнего магнитного поля позволяет получить новые решения для ряда технических и инженерных задач. Обычные жидкости диамагнитны, следовательно, они плохо взаимодействуют с магнитным полями. Магнитные жидкости как искусственно синтезированные материалы легко управляются слабыми магнитными полями. Помещая магнитную жидкость во внешнее магнитное поле, можно легко изменять ее поведение и физические свойства, такие, как вязкость, упругость, теплопроводность, оптическую проницаемость [6, 7].

В литературе встречается множество работ, посвященных исследованию вязкостных свойств магнитных жидкостей [1, 2], которые позволяют решить задачи, связанные с их применением в качестве смазывающих материалов, измерительных приборов, герметизирующих устройств. Вместе с тем многие колебательные системы, созданные на основе магнитных жидкостей, такие как амортизаторы и демпфирующие устройства, датчики перемещения и акустические системы основаны на упругих колебаниях магнитных жидкостей [2]. В связи с этим становится актуальным исследование упругих свойств магнитных жидкостей.

В настоящей работе на основе метода статистической теории для модели двухкомпонентной магнитной жидкости, состоящей из частиц жидкости-носителя и магнетиков, исследованы объемный и сдвиговый модули упругости магнитных жидкостей с учетом диполь-дипольного взаимодействия магнитных частиц.

Ранее в [3] на основе микроскопического определения тензора вязких напряжений были исследованы вязкостные свойства магнитных жидкостей. Как известно, в механике сплошной среды [4], аналогично тензору вязких напряжений, формально вводится тензор упругих напряжений

$$\sigma^{\alpha\beta}(\mathbf{q}_1,t)=K\,\mathrm{div}\mathbf{u}\,\delta^{\alpha\beta}+2\mu\left(u^{\alpha\beta}-\frac{1}{3}\mathrm{div}\mathbf{u}\delta^{\alpha\beta}\right), \tag{1}$$

который описывает внутренние силы в упругой системе. Здесь K и μ являются объёмным и сдвиговым модулями упругости. Соответственно, основываясь на статистических закономерностях и микроскопически определяя тензор упругих напряжений, можно получить выражения для модулей упругости магнитной жидкости.

С этой целью будем исходить из ранее полученного выражения [3] для тензора потока импульса:

$$\begin{aligned}\Pi^{\alpha\beta}(\mathbf{q}_1,t)&=K^{\alpha\beta}(\mathbf{q}_1,t)-\frac{\sigma^3}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{d\Phi(r)}{dr}\frac{r^\alpha r^\beta}{r}n_2'(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)d\mathbf{r}=\\&=K^{\alpha\beta}(\mathbf{q}_1,t)-\frac{\sigma^3}{2}\int_{-\infty}^{\infty}d\mathbf{r}\frac{d\Phi(r)}{dr}\frac{r^\alpha r^\beta}{r}\int_0^t dt_1\int_{-\infty}^{\infty}G(r,r_1,t-t_1)R(\mathbf{q}_1,\mathbf{r}_1,t_1)d\mathbf{r}_1.\end{aligned} \tag{2}$$

Учитывая в (2) решение $n_2'(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)$ из [3], совершая в нем фурье-преобразование и сопоставляя полученное выражение с макроскопическим выражением (1), для динамических релаксационного объемного и сдвигового модулей упругости магнитной жидкости получим:

$$\begin{aligned}K_r(\omega)&=\sum_{i=f,s}\frac{n_i^2\sigma_i^3\omega}{24\pi}\int_0^\infty\frac{\partial\Phi_i}{\partial r}\int_0^\infty\Gamma_i(r,r_1,\omega)\varphi_i^*(r_1)r_1^{-1}d\mathbf{r}_1d\mathbf{r}\;+\\&+\frac{n_f^2\sigma_f^3\omega}{216\pi}\int_0^\infty\frac{\partial\Phi_f}{\partial r}\int_0^\infty\Gamma_f(r,r_1,\omega)\frac{\mu_0}{\beta_f}(\mathbf{m}\nabla)\frac{\partial H}{\partial\upsilon}\frac{\partial g_f}{\partial r_1}d\mathbf{r}_1d\mathbf{r},\\\mu(\omega)&=\sum_{i=f,s}\frac{n_ikT(\omega\tau_{1i})^2}{1+(\omega\tau_{1i})^2}+\sum_{i=f,s}\frac{n_i^2\sigma_i^3\omega}{120\pi}\int_0^\infty\frac{\partial\Phi_i}{\partial r}\int_0^\infty\Gamma_i(r,r_1,\omega)\frac{\partial g_i}{\partial r_1}d\mathbf{r}_1d\mathbf{r}\;+\\&+\frac{n_f^2\sigma_f^3\omega}{360\pi}\int_0^\infty\frac{\partial\Phi_f}{\partial r}\int_0^\infty\Gamma_f(r,r_1,\omega)\frac{\mu_0}{\beta_f}(\mathbf{m}\nabla)\frac{\partial H}{\partial\upsilon}\frac{\partial g_f}{\partial r_1}d\mathbf{r}_1d\mathbf{r},\end{aligned} \tag{3}$$

где

$$\varphi_i^*(r_1)=\frac{r_1}{3}\frac{\partial g_i}{\partial r_1}-n_i\left(\frac{\partial g_i}{\partial n_i}\right)_T-\gamma_iT\left(\frac{\partial g_i}{\partial T}\right)_{n_i},$$

$$\Gamma_i(r,r_1,\omega)=-\frac{\tau_{0i}}{2}\left(\frac{2}{\omega_i\tau_{0i}}\right)^{1/2}\left[(\sin\varphi_{1i}+\cos\varphi_{1i})e^{-\varphi_{1i}}-(\sin\varphi_{2i}+\cos\varphi_{2i})e^{-\varphi_{2i}}\right],$$

$\varphi_{(1,2)i}(r,r_1,\omega)=\left(\frac{\omega_i\tau_{0i}}{2}\right)^{1/2}(r\mp r_1)$, $\tau_{0i}=\frac{\beta_i\sigma_i^2}{2kT}$ – феноменологическое время структурной релаксации, n_i, σ_i, β_i – соответствующие i-ой подсистеме значения числовой плотности, диаметра частицы и коэффициента трения.

Выражения (3) позволяют определить динамические объемной $K(\omega)$ и сдвиговой $\mu(\omega)$ модули упругости магнитной жидкости в широком диапазоне изменения частот и термодинамических параметров состояния. Для проведения численных расчетов в (3)

необходимо выбрать явный вид потенциальных энергий взаимодействия Φ_i между структурными единицами каждой подсистемы. Потенциальную энергию взаимодействия для молекулярной подсистемы выбираем в виде потенциала Штокмайера. Для магнитной подсистемы потенциальную энергию выбираем в виде суммы потенциалов Леннард-Джонса и потенциала диполь-дипольного взаимодействия магнитных частиц.

Таким образом, на основе (3) с учетом выбранных потенциальных энергий взаимодействия проведен численный расчет частотной зависимости релаксационной объемной и сдвиговой модулей упругости для магнитной жидкости на основе керосина. Результаты расчетов продемонстрированы на рис. 1.

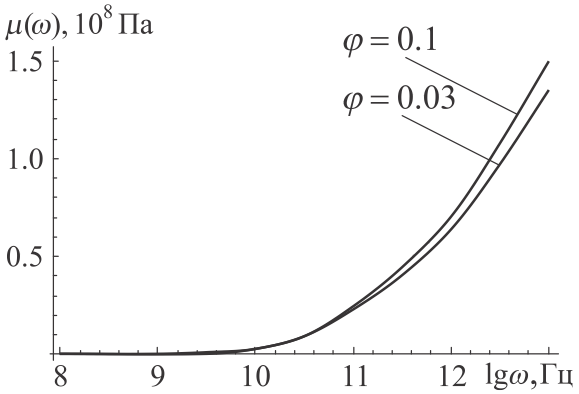


Рис. 1. Зависимости $\mu(\omega)$ от частоты для магнитной жидкости на основе керосина.

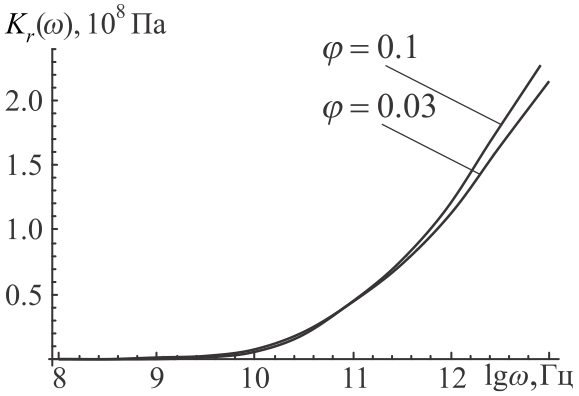


Рис. 2. Зависимости $K_r(\omega)$ от частоты для магнитной жидкости на основе керосина.

Как видно из этих рисунков с увеличением частоты внешнего возмущения модули упругости возрастают и область дисперсии этих модулей является широкой. Результаты расчетов находятся в удовлетворительном согласии с экспериментальными результатами [5].

Литература

1. Odenbach S. Colloidal Magnetic Fluids: Basics, Development and Application of Ferrofluids. Lect. Notes Phys. 763 // Springer, Berlin Heidelberg. – 2009. – 430 p.
2. Берковский В.М., Медведев В.Ф., Краков М.С. Магнитные жидкости // – М.: Химия. – 1989. – 240 с.
3. Комилов К., Зарипов А.К., Убайди А. Частотная дисперсия коэффициента сдвиговой вязкости и магнитовязкий эффект в магнитных жидкостях // Журн. физ. химии. – 2020. – Т. 94. – № 8. – С. 1279–1284.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Механика сплошных сред. – Москва: Гос. изд-во техн.-теорет. лит. – 1953. – 788 с.
5. Полунин В.М. Акустические свойства нанодисперсных магнитных жидкостей / В.М. Полунин. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 384 с.
6. Применение нанодисперсных систем в технике, медицине, биологии и экологии // Сборник научных трудов, 19-я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям. Иваново, Россия. – 2020. – С. 229–300.
7. Такетоми С., Тикадзуми С. Магнитные жидкости. – М.: Мир. – 1993. 272 с.

ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДИОКСИДА ТИТАНА

Маджидов Х., Исмонов Ф.Д.
Таджикский государственный педагогический университет имени С.Айни, г.Душанбе, Таджикистан

Экспериментально исследована динамической вязкости водных растворов диоксида титана при различных температурах и давлениях.

Для измерения вязкости водных растворов системы H_2O+TiO_2 при различных температурах и давлениях нами использована экспериментальная установка, разработанная профессором Голубевым И.Ф. и модернизированная профессором Назиевым Я.М. и его учениками [1-3].

Полученные экспериментальные данные по динамической вязкости водных растворов диоксида титана приведена в табл. 1.

Таблица 1- Влияние концентрации наночастиц (TiO_2) на изменение коэффициента динамической вязкости (η ,10^{-3} $Па \cdot с$) воды при различных температурах и давлении p=49.01МПа

T,K	H_2O	Обр.№2	Обр.№3	Обр.№4	Обр.№5	Обр.№6	Обр.№7
273	2.346	2.403	2.416	2.441	2.458	2.473	2.488
283	1.564	2.082	2.155	2.218	2.226	2.302	2.386
293	1.559	1.707	1.836	1.960	1.936	2.035	2.088
303	1.355	1.488	1.560	1.634	1.732	1.801	1.884
313	1.211	1.320	1.562	1.468	1.514	1.574	1.589
323	1.094	1.183	1.109	1.996	1.361	1.418	1.461
333	1.023	1.102	1.148	1.190	1.454	1.393	1.430
343	-	1.043	1.082	1.122	1.164	1.216	1.264
353	-	1.011	1.049	1.074	1.146	1.174	1.245
363	-	0.992	1.038	1.063	1.115	1.136	1.175
373	-	0.980	1.029	1.054	1.099	1.124	1.140
383	-	0.971	1.026	1.051	1.079	1.122	1.139
393	-	0.965	1.018	1.030	1.075	1.116	1.137
403	-	0.959	1.012	0.922	1.042	1.111	1.132
413	-	0.950	1.006	1.036	1.061	1.050	1.026
423	-	0.942	1.001	1.030	1.046	1.098	1.024
433	-	0.938	0.992	1.022	1.049	1.092	1.012
443	-	0.933	0.985	1.016	1.042	1.085	1.009

Обр.№1- H_2O; Обр.№2- (H_2O+0,5% TiO_2); Обр.№3- (H_2O+1,0% TiO_2); Обр. №4- (H_2O + 1,5% TiO_2); Обр.№5- (H_2O+2,0% TiO_2); Обр.№6- (H_2O+2,5% TiO_2); Обр.№7- (H_2O+3,0% TiO_2).

На рис. 1 и 2 показана зависимость коэффициент динамической вязкости от массовой концентрации наночастиц диоксида титана при различных температурах и давлении 29,34МПа и 49,01МПа.

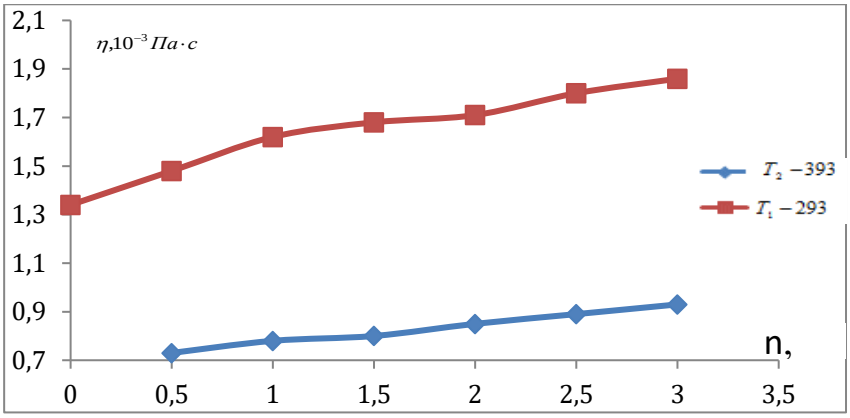


Рисунок 1- Зависимость коэффициента динамической вязкости водных растворов в зависимости от массовой концентрации наночастицы TiO_2 при давлении P=29,34Мпа и температуре T_1=293К и T_2=393К

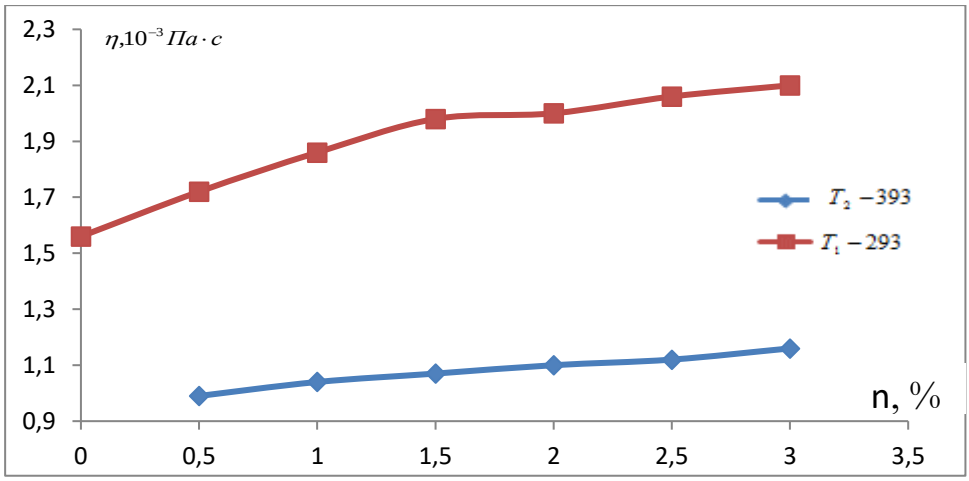


Рисунок 2- Зависимость коэффициента динамической вязкости водных растворов в зависимости от массовой концентрации наночастиц TiO_2 при давлении P=49,01МПа и температуре T_1=293К и T_2=393К

Как видно из рис. 1 и 2 с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана коэффициент динамической вязкости водных растворов увеличивается. При низких температурах (T_1=293К) с увеличение массовой концентрации TiO_2 коэффициент динамической вязкости водных растворов растет нелинейно, а с повышением температуры (T_2=393К) увеличение коэффициента динамической вязкости происходит по линейному закону.

Надо отметить, что в различных изобарах разность коэффициента динамической вязкости между водных растворов содержащих различную массовую концентрацию TiO_2 почти одинаковое. На рисунках 1 и 2 на изобарах 29,34 МПа и 49,01МПа разность коэффициента динамической вязкости, между изотермами T_1=293К и T_2=393К, при массовой концентрации 0,5%TiO_2 и 3,0%TiO_2 соответственно составляет $\Delta\eta = \eta_{293} - \eta_{393} = 0{,}742 \cdot 10^{-3}$Па · с и $\Delta\eta = 0{,}951 \cdot 10^{-3}$Па · с.

Таким образом, с увеличением массовой концентрации наночастиц диоксида титана в водных растворах на изобарах разность коэффициент динамической вязкости растет.

С ростом температуры расстояния между молекулами водных растворов содержащих различные массовые концентрации TiO_2 увеличивается.

Увеличение расстояния между молекулами водных растворов ухудшает передачу импульса молекулы от одной изотермической поверхности к другой изотермической поверхности, что приводит к уменьшению коэффициента динамической вязкости водных растворов содержащих различное количество наночастиц диоксида титана с повышением температуры.

Увеличение коэффициента динамической вязкости водных растворов с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана связанно с большим вкладом наночастиц в передачи импульса из одного изотермического слоя к другому в водных растворах содержащих различное количество TiO_2.

Поэтому, чем больше будет массовая концентрация наночастиц диоксида титана в составе водных растворов, тем больше становится их коэффициент динамической вязкости.

Установили, что с ростом давления влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана, уменьшается.

Например, при изменении температуры от 273К до 333К коэффициент динамической вязкости воды при давлении Р=0,101МПа уменьшается на 73,83%, а для водных растворов содержащих 0,5% TiO_2 при давлении Р=0,101МПа уменьшается на 72,11%, при давлении Р=19,61МПА на 63,47%, при давлении Р=49,01МПа на 54,1%, а такое уменьшение в растворе содержащего 1,0% TiO_2 составляет при давлении Р=0,101МПа – 69,87%, при Р=19,61МПа – 61,37%, при Р=49,01МПа – 52,48% и для раствора содержащий 3,0% TiO_2 это изменение составляет при давлении Р=0,101МПа – 55,48%, при Р=9,81МПа – 50,78%, при Р=19,61МПа – 43,46%, при Р=49,01МПа – 40,07%.

Рост давления приводит к хорошему уплотнению молекулы исследуемых объектов. Хорошо уплотненные молекулы растворов уменьшают изменение коэффициента динамической вязкости. Чем больше будет давление, тем больше происходит хорошее уплотнение молекул растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана. При хорошем уплотнении молекул водных растворов, влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости уменьшается, что подтверждается проведенным нами исследованием. Хорошее уплотнение молекул обеспечивает лучшую передачу импульса молекулы от одного изотермического слоя к другому, что уменьшает влияние температуры на изменение коэффициента динамической вязкости исследуемых водных растворов.

Исследование показало, что чем больше будет диапазон изменения температуры, тем больше будет влияние давления на изменение коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана. Например, в диапазоне изменения температуры (273 - 333)К при давлении Р=0,101МПа коэффициент динамической вязкости водных раствор содержащих 1,0% TiO_2 уменьшается на 69,78%, при давлении Р=19,61МПа – 61,37%, при давлении Р=49,01МПа – 52,48%, а в диапазон температур Т=(273 - 443)К это уменьшение соответственно составляет при Р=9,81МПа – 73,61%, при Р=29,34МПа – 65,46%, при Р=49,01МПа – 59,23%.

Чем больше будет диапазон изменения температуры, тем больше становится расстояние между молекулами водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц диоксида титана и это, является причиной большого уменьшения

коэффициента динамической вязкости водных растворов, содержащих различные массовые концентрации наночастиц TiO_2 в большом диапазоне температур.

Установлено, что с ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана в состав водных растворах влияния давления на их коэффициент динамической вязкости при различных температурах уменьшается. Например, при изменении давления от 0,101МПа до 49,01МПа, коэффициент динамической вязкости водных растворов содержащих 0,5% TiO_2 при температуре Т=333К увеличивается на 118,65%, при температуре Т=393К на 161,52%, а для водных растворов содержащих 1,5% TiO_2 увеличение коэффициента динамической вязкости при изменении давления от 0,101МПа до 49,01МПа при температурах 333К и 393К соответственно составляет 100,3% и 127,88%, а такие изменения для водных раствор содержащий 3,0% TiO_2 соответственно составляет 87,17% и 109,78%.

С ростом массовой концентрации наночастиц диоксида титана в состав водных растворов взаимодействия между их молекулы увеличивается и это затрудняет приближении молекулы друг к другу под действием внешнего давления и перенос импульса молекулы из одного изотермического слоя к другому уменьшается, что приведет к уменьшению влияния внешнего давления на коэффициент динамической вязкости объектов при различных температурах.

Литература

1. Голубев И.Ф., Назиев Я.М. /Труды ЭНИ им. Есьмена АН АзССР,-Баку, 1962.-Т.15.-с.70-73.

2. Гусейнов С.О., Назиев Я.М., Фарзалиев Б.И. /Исследование плотности и динамической вязкости Н-толуидина при различных температурах и давлениях. //Известия вузов. Нефть и газ. 1981, №6, с.65-68.

3. Гусейнов С.О., Галандаров З.С. /Исследование плотности и динамической вязкости нонена-1 при различных температурах и давлениях. //Известия вузов. Нефть и газ. 1984, №4, с.50-55.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДИОКСИДА ТИТАНА

Маджидов Х., Исмонов Ф.Д.

Таджикский государственный педагогический университет имени С.Айни, г.Душанбе, Таджикистан

Экспериментально исследована плотность и динамической вязкости водных растворов системы (H_2O+TiO_2) при различных температурах (283-433К), давлениях (0,101-49,01МПа) и концентрации наночастиц TiO_2 (0,5%-3,0% TiO_2).

Для экспериментального определения плотности растворов системы вода и наночастиц TiO_2 использован метод гидро- статистического взвешивания [1-3].

Общая относительная погрешность измерения плотности исследуемых водных растворов диоксид титана TiO_2 при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95\%$ составляет 0,1%.

Полученные данные по плотности растворов системы воды и наночастиц TiO_2 приведены в табл. 1.

Таблица 1- Плотность (ρ, кг/м^3) водных растворов диоксида титана ($H_2O + 2{,}5\% TiO_2$) при высоких параметрах состояния

P, МПа	0,101	0,101	9,81	19,61	29,43	39,24	49,01
T,K	H_2O	раствор	раствор	раствор	раствор	раствор	раствор
273	999,9	—	—	—	—	—	—
283	999,3	1080	1085	1093	1098	1103	1109
293	997,2	1072	1078	1085	1091	1096	1102
303	994,4	1065	1071	1077	1083	1089	1096
313	992,0	1058	1064	1070	1077	1082	1089
323	987,2	1050	1057	1064	1070	1076	1083
333	985,0	1044	1050	1057	1063	1069	1075
343	—	—	1043	1050	1056	1064	1069
353	—	—	1036	1043	1049	1057	1063
363	—	—	1029	1035	1042	1050	1056
373	—	—	1023	1028	1036	1043	1048
383	—	—	1015	1022	1029	1036	1043
393	—	—	1008	1014	1023	1030	1035
403	—	—	1000	1007	1015	1024	1029
413	—	—	993	1000	1008	1016	1023
423	—	—	986	994	1002	1010	1016
433	—	—	979	986	995	1003	1009

Характер изменения плотности исследуемых объектов в зависимости от температуры и давления показана на рис.1.

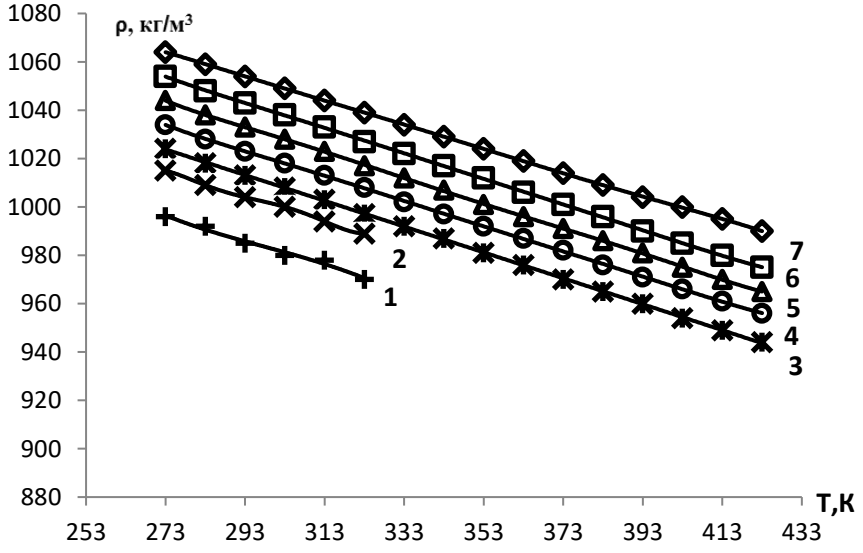


Рисунок 1. Плотность водных растворов диоксида титана (H_2O +0,5 % TiO_2) при высоких параметров состояния: 1-H_2O (0,101 МПа), 2-0,101МПа, 3-9,81МПа, 4-19,61МПа, 5-29,42МПа, 6-39,24МПа, 7-49,01МПа.

На рис. 1 и табл.1 приведены экспериментальные данные по плотности воды как в чистом виде, так и с добавлением 0,5%TiO_2 и 2,5%TiO_2 при высоких параметрах состояния.

Установлено, что с ростом температуры плотность воды и коллоидных растворов уменьшается, а повышение давления увеличивает плотность воды и раствора. При температуре 283К и давлении P=0,101МПа для раствора содержащий 0,5%TiO_2 плотность растет на 2,47%, при температуре 333К плотность этот раствор растет на 1,52%.

При температуре 283К частицы диоксида титана близко располагаются с молекулами воды, а при температуре 333К расстояния между частицы TiO_2 и молекулы воды больше становится, что приводит к увеличение объема воды, за счет чего уменьшается плотность раствора с повышением температуры.

С повышением температуры его влияния на рост плотности раствора уменьшается, т.е. масса раствора на единицы объема с ростом температуры уменьшается.

Повышение давления от 0,101МПа до 49,01МПа при 283К увеличивает плотность раствора содержащих 0,5% TiO_2 на 3,22%, а при 333К эта разница составляет при таком же изменении давления 3,8%.

Плотность чистой воды с увеличением температуры уменьшается по линейному закону.

Установлено, что при температуре 283К, в диапазон давления от 9,81МПа до 49,01МПа плотность образца H_2O+3,0% TiO_2 растет на 2,28%, для температуры 353К плотность растет на 2,68%, при температуре 433К это изменение доходит до 3,2%.

С ростом массовой концентрации наночастиц TiO_2 и увеличение давления плотность растворов растет. Добавки наночастиц TiO_2 от 0 до 1,0% при атмосферном давлении и температуры 283К способствует повышению плотности образца на 2,6%, при температуре 333К и давлении атмосферного воздуха это изменение составляет 2,97%. Надо отметить, что при высоких давлениях (выше 29,43МПа) изменение плотности с ростом температуры в сторону уменьшения подчиняется закону прямой линии.

С увеличением массовой концентрации диоксида титана TiO_2 в состав растворов, их плотность растет. С увеличением температуры при расширении растворов их объем увеличивается, что приводит к уменьшению плотности растворов. С ростом давлении опыта расстояние между молекулами исследуемых растворов и их объем уменьшается, что приводит к увеличению их плотности.

Надо отметить, что с ростом массовой концентрации диоксида титана в состав исследуемых растворов влияние температуры на изменение их плотности растет.

Например, при повышении температуры от 283К до 333К плотность вода уменьшается на 1,43%, а это изменения для растворов H_2O+0,5% TiO_2 и H_2O+2,0% TiO_2 соответственно составляет 2,34% и 3,64%.

Увеличение массовой концентрации наполнителя (диоксида титана TiO_2) приводит к росту массы исследуемых растворов в единицу их объема, что приводит к росту плотности. Изменения роста плотности растворов с повышением температуры связано с ростом межмолекулярных расстояний.

Исследование показало, что с ростом давления влияние температуры на изменение плотности исследуемых растворов уменьшается. Например, при изменении температуры от 283К до 333К при давлении 0,101МПа плотность раствора содержащий 0,5%TiO_2 уменьшается на 2,34%, а это уменьшение при давлении 19,61МПа и 49,01МПа соответственно составляет 2,02% и 1,8%.

Рост давления приводит к хорошему уплотнению молекул исследуемых растворов. Хорошее уплотнение молекул растворов уменьшает изменения их плотности с повышением температуры.

Надо отметить, что с ростом массовой концентрации диоксида титана (TiO_2) в составе водных растворов влияние температуры на изменении плотности растворов при различных давлениях увеличивается. Например, при давлении 49,01МПа увеличение температуры от 283К до 333К уменьшает плотности раствора содержащего 0,5% TiO_2 на 1,8%, а для

растворов содержащего 1,0% TiO и 2,0% TiO_2 это уменьшение соответственно составляет 2,44% и 3,35%.

С ростом массовой концентрации TiO_2 в составе воды межмолекулярное взаимодействие ослабляется. В результате повышения температуры, молекулы воды слегка удаляются друг от друга и расстояния между ними растет, что приводит к увеличению объема раствора и это определяет причину увеличения влияния температуры на уменьшение плотности растворов.

Установлено, что с ростом температуры влияние давления на изменение плотности растворов содержащих различные массовые концентрации TiO_2 увеличивается. Например, при температуре 283К увеличение давления от 0,101МПа до 49,01МПа плотность раствора содержащих 0,5% TiO_2 увеличивается на 3,22%, а при температуре 333К это увеличение составляет 3,8%. Для раствора содержащего 1,5% TiO_2 такое изменение составляет: при температуре Т=283К 3,11%, а для температуры Т=333К – 3,91%.

С ростом температуры расстояния между молекулами увеличивается и чем больше будет температура, тем больше становится расстояния между молекулами в растворе. Под действием внешнего давления при повышенных температурах молекулы сильнее приближаются друг к другу, а это приводит к уменьшению объема раствора и увеличения их плотности. Поэтому с ростом температуры влияние давления на изменение плотности растворов увеличивается.

Надо отметить, что при температуре Т=433К при изменении давления от 9,81МПа до 49,01МПа плотность растворов содержащие различные массовые концентрации TiO_2 увеличивается почти одинаково и примерно составляет 3,0%. Это свидетельствует о том, что при повышенных температурах взаимодействие молекул растворов содержащих различные массовые концентрации TiO_2 не очень сильно отличаются.

С ростом диапазона температуры уменьшение плотности водных растворов увеличивается. Например, если изменение температуры происходит от 283К до 333К при давлении 19,61МПа уменьшается плотность раствора содержащего 0,5% TiO_2 на 2,02%, а это изменение при давлении 19,61МПа при увеличении температуры от 283К до 433К составляет 8,19%, при давлении 49,01МПа – 7,57%. Это связано с увеличением расстояния между молекулами водных растворов с повышением диапазона температуры.

Литература

1. Гусейнов К.Д. Исследование термодинамических свойств ряда кислородосодержащих органических веществ в широком интервале параметров состояния. //Дисс… д-ра т.н.-Баку, 1979,-392с.

2. Голубев И.Ф. Определение удельного веса жидкостей и газов при высоких давлениях методом гидростатистического взвешивания. //Науч. труды ГИАП.-М., 1957.-Вып. УП.-с.47-61.

3. Голубев И.Ф., Доброволский О.А. Измерение плотности азота и водорода при низких температурах и высоких давлениях. //Газовая промышленность.-1964.-№5.-с. 43-48.

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ПОЛЕ ИМПУЛЬСА ПУЧКА ИОНОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Салихов Т. Х., Абдурахмонов А. А.
НИИ Таджикского национального университета, г. Душанбе, Республика Таджикистан
E−mail: tsalikhov@mail.ru abdurahmoni.abdukadim@mail.ru

Известно [1,2], что один из надежных методов модификации существующих материалов с целью придания им новых уникальных свойств является облучение их потоком ионов. Однако, очевидно, что при этом происходит существенный нагрев образцов и возникает необходимость полного понимания особенностей формирования как стационарного, так и нестационарного температурных полей (ТП) в зависимости от формы импульса падающего пучка ионов. Вопрос об формировании стационарного ТП с учетом температурной зависимости теплофизических величин и поглощательной способности облучаемых образцов нами рассмотрен в [3-5]. Целью настоящей работы является теоретическое исследование особенностей формирования нестационарного ТП при облучении тонких пленок твердых диэлектриков потоком ионов с импульсом прямоугольной формы.

Примем во внимание, что длина пробега ионов R в пленке твердого тела, как правило, меньше её толщины L. Это позволит нам разделить облучаемый образец на две части: часть, подвергающаяся воздействию потока ионов и оставшаяся часть с толщиной $(L-R)$. Тогда имеет место следующая система уравнений теплопроводности для соответствующих частей образца [4,5]:

$$\frac{1}{\chi}\frac{\partial T_1}{\partial t}=\frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2}+\frac{EJ\varphi(t)}{ZekR}, \qquad 0\le z\le R, \tag{1}$$

$$\frac{1}{\chi}\frac{\partial T_2}{\partial t}=\frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2}, \qquad R\le z\le L. \tag{2}$$

Здесь k, $\chi=k\cdot\rho C_p^{-1}$, ρC_p - коэффициенты теплопроводности, температуропроводности и теплоёмкости единицы объема, E - начальная энергия ионов, J - плотность потока ионов, e - заряд электрона. Для рассматриваемого случая $\varphi(t)=\Theta(t)-\Theta(t-\tau_L)$, где $\Theta(t)$ - единичная функция Хэвисайда, τ_L - ширина прямоугольного импульса.

Для совместного решения системы уравнений (1)- (2), кроме начальных условий, необходимо иметь четыре граничных условия, которым соответствуют условия непрерывности температур и потоков тепла между этими слоями, а также отсутствие оттока тепла на торцах образца. Эти условия можно написать в следующем виде:

$$T'_{1,2}(0,z)=0,\ \frac{\partial T_{1,2}}{\partial z}(0,z)=0,\ k\left.\frac{\partial T_1}{\partial z}\right|_{z=0}=0,\ k\left.\frac{\partial T_2}{\partial z}\right|_{z=L}=0,\ T_1(R,t)=T_2(R,t),\ k\left.\frac{\partial T_1}{\partial z}\right|_{z=R}=k\left.\frac{\partial T_2}{\partial z}\right|_{z=R}.$$

Выполняя преобразование Лапласа по t в (1)-(2), получим следующую систему уравнений:

$$\frac{d^2\widehat{T}_1}{dz^2}-q^2\widehat{T}_1=-\frac{EJ\varphi_1(p)}{ZekRp}, \qquad 0\le z\le R, \tag{3}$$

$$\frac{d^2T_2}{dz^2} - q^2\widehat{T}_2 = 0, \qquad R \le z \le L. \tag{4}$$

где $q^2 = p/\chi$, $\varphi_1(p) = 1 - \exp(-p\tau_L)$.

Решение системы (3)-(4) можно написать в виде

$$\widehat{T}_1(p,z) = \gamma_1 e^{qz} + \gamma_2 e^{-qz} + \frac{EJ\varphi_1(p)}{Ze\rho C_P R p^2}, \tag{5}$$

$$\widehat{T}_2(p,z) = G_1 e^{q(z-R)} + G_2 e^{-q(z-R)}. \tag{6}$$

Здесь $\gamma_{1,2}$ и $G_{1,2}$ - постоянные интегрирования, выражения для которых находятся из вышеприведённых граничных условий. Выполнив эту процедуру, получим следующие выражения для $\widehat{T}_{1,2}(p,z)$:

$$\widehat{T}_1(p,z) = I_1\{1 - \frac{sh(q(L-R))[e^{qz} + e^{-qz}]}{2\,sh(qL)}\}, \tag{7}$$

$$\widehat{T}_2(p,z) = \frac{I_1}{2}\{(e^{q(z-R)} + e^{-q(z-R)}) - \\ - \frac{sh\,q(L-R)[(chqR + sh\,qR)e^{q(z-R)} + (chqR - sh\,qR)e^{-q(z-R)}}{sh\,qL}\}, \tag{8}$$

где $I_1 = \dfrac{EJ\varphi_1(p)}{2e\rho C_P p^2 R}$.

Теперь обратное преобразование от выражения (7) представим в виде

$$T_1(z,t) = T_{1(1)} + T_{1(2)}(z,t) + T_{1(3)}(z,t).$$

Здесь

$$T_{1(1)}(t,z) = \frac{EJ\,\tau_L}{2Ze\rho C_p R}, \tag{9}$$

$$\widehat{T}_{1(2)}(t,z) = -\frac{EJ}{4Ze\rho C_p R}\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\frac{\varphi_1(p)sh\,q(L-R)e^{-qz}e^{pt}\,dp}{p^2 sh(qL)}, \tag{10}$$

$$\widehat{T}_{1(2)}(t,z) = -\frac{EJ}{4Ze\rho C_p R}\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\frac{\varphi_1(p)sh\,q(L-R)e^{qz}e^{pt}\,dp}{p^2 sh(qL)}. \tag{11}$$

Для вычисления выражений (10) и (11) воспользуемся теоремой свертки [6,7] в виде

$$f_1(p)\,f_2(p) \Leftrightarrow \int_0^t F_1(\tau)F_2(t-\tau)d\tau = \int_0^t F_1\,(t-\tau)F_2(\tau)d\tau,$$

где соответственно $f_1(p) = \dfrac{e^{-qz}}{p}$ и $f_2(p) = \dfrac{\varphi_1(p)sh\,q(L-R)}{p\,sh(qL)}$ для $\widehat{T}_{1(1)}(t,z)$ и $f_1(p) = \dfrac{e^{-q(L-z)}}{p}$, $f_2(p) = \dfrac{e^{qL}\varphi_1(p)sh\,q(L-R)}{p\,sh(qL)}$ для $\widehat{T}_{1(2)}(t,z)$. Примем во внимание, что $f_2(p)$ для обоих величин имеет полюса при $p = 0$ и $sh\,qL = 0$. Используя методы теории вычета и выполняя интегрирование выражений (10) и (11), получим следующие выражения:

$$\widehat{T}_{1(2)}(t,z) = -\frac{\mathrm{A}}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n \frac{\sin[\pi n(1-L/R)]}{n}\int_0^t e^{-\frac{n^2\pi^2\chi}{L^2}(t-\tau_L)}[1-e^{-\frac{n^2\pi^2\chi}{L^2}\tau_L}]\Phi^*\left(\frac{z}{2\sqrt{\chi\tau}}\right)d\tau\,, \tag{12}$$

$$\widehat{T}_{1(3)}(t,z) = -\frac{\mathrm{A}}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin[\pi n(1-L/R)]}{n}\int_0^t e^{-\frac{n^2\pi^2\chi}{L^2}(t-\tau)}[1-e^{-\frac{n^2\pi^2\chi}{L^2}\tau_L}]\Phi^*\left(\frac{L-z}{2\sqrt{\chi\tau}}\right)d\tau\,, \tag{13}$$

где $\mathrm{A} = \dfrac{E\,J}{2\,Z\,e\,\rho C_p\,R}$, $\Phi^*(z) = 1-\Phi(z)$, $\Phi(z) = \dfrac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-s^2}ds$ - интеграл вероятности.

Обратное преобразование Лапласа от (8) можно представить в виде

$T_2(z,t) = T_{2(1)}(z,t) + T_{2(2)}(z,t) + T_{2(3)}(z,t)$, $T_{2(1)}(z,t) = T_{2(1,1)}(z,t) + T_{2(1,2)}(z,t)$,

где

$$T_{2(1,1)}(z,t) = \frac{A}{2}\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\frac{e^{q(z-R)}\varphi_1(p)e^{pt}\;dp}{p^2} = \frac{A}{2}[\int_0^t \Phi^*\left(\frac{L-z+R}{2\sqrt{\chi(t-\tau)}}\right)d\tau + \int_0^{t-\tau_L}\Phi^*\left(\frac{L-z+R}{2\sqrt{\chi(t-\tau)}}\right)d\tau], \tag{14}$$

$$\begin{aligned} T_{2(1,2)}(z,t) &= \frac{A}{2}\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\frac{e^{-q(z-R)}\varphi_1(p)e^{pt}\;dp}{p^2} = \frac{A}{2}\{(t+\frac{(z-R)^2}{2\chi})\Phi^*(\frac{z-R}{2\sqrt{\chi t}}) - \\ &-(z-R)(\frac{t}{\pi\chi})^{1/2}e^{-\frac{(z-R)^2}{4\chi t}} - [(t-\tau+\frac{(z-R)^2}{2\chi})\Phi^*(\frac{z-R}{2\sqrt{\chi t-\tau}}) - (z-R)(\frac{t-\tau}{\pi\chi})^{1/2}e^{-\frac{(z-R)^2}{4\chi(t-\tau_L)}}]\}\end{aligned}, \tag{15}$$

В выражениях

$$T_{2(2)}(z,t) = -\frac{A}{2}\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\frac{e^{qL}sh\,q(L-R)[(chqR+sh\,qR)\varphi_1(p)e^{-q(L-z+R)}e^{pt}dp}{p^2 sh(qL)}\,,$$

$$T_{2(3)}(z,t) = -0.5\,\mathrm{A}\frac{1}{2\pi i}\int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty}\frac{sh\,q(L-R)[(chqR-sh\,qR)\varphi_1(p)e^{-q(z-R)}e^{pt}dp}{p^2 sh(qL)}\,.$$

Также воспользуемся теоремой свертки, где

соответственно $f_1(p) = \dfrac{e^{-q(L-z+R)}}{p^2}$ и $f_2(p) = \dfrac{\varphi_1(p)sh\,q(L-R)e^{qL}(chqR+shqR)}{sh(qL)}$ для $\widehat{T}_{2(2)}(t,z)$

и $f_1(p) = \dfrac{e^{-q(z-R)}}{p^2}$ и $f_2(p) = \dfrac{\varphi_1(p)sh\,q(L-R)(chqR-shqR)}{sh(qL)}$ для $\widehat{T}_{2(3)}(t,z)$. Опять, реализуя теорию вычетов, выполним интегрирование этих выражений и будем иметь

$$\begin{aligned} T_{2(2)}(z,t) &= \frac{A\pi\chi}{L^2}\times\sum_{n=1}^{\infty}nR_1(nR)\sin[\pi n(1-L/R)](1-e^{\frac{n^2\pi^2\tau_L}{L^2}})\times \\ &\times\int_0^{\tau}e^{-\frac{n^2\pi^2}{L^2}(t-\tau_L)}[(\tau+\frac{(L-z+R)^2}{2\sqrt{\tau\chi}})\Phi^*(\frac{L-z+R}{2\sqrt{\tau\chi}}) - (L-z+R)(\frac{\tau}{\pi\chi})^{1/2}e^{-(\frac{(L-z+R)^2}{4\chi\tau})}]d\tau,\end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} T_{2(3)}(z,t) &= \frac{A\pi\chi}{L^2}\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n R_2(nR)\sin[\pi n(1-L/R)](1-e^{\frac{n^2\pi^2\tau_L}{L^2}})\times \\ &\times\int_0^{t}e^{-\frac{n^2\pi^2}{L^2}(t-\tau_L)}[(\tau+\frac{(z-R)^2}{2\sqrt{\tau\chi}})\Phi^*(\frac{z-R}{2\sqrt{\tau\chi}}) - (z-R)(\frac{\tau}{\pi\chi})^{1/2}e^{-(\frac{(z-R)^2}{4\chi\tau})}]d\tau,\end{aligned} \tag{17}$$

где $R_1(nR) = \cos\left(\frac{R}{L}n\pi\right) + \sin\left(\frac{R}{L}n\pi\right)$, $R_2(nR) = \cos\left(\frac{R}{L}n\pi\right) - \sin\left(\frac{R}{L}n\pi\right)$.

Выражения (9) и (12) - (17) являются решением сформулированной задачи и позволяют путем численного расчета определить особенности временного поведения поля температуры в твердых диэлектриках при их облучении прямоугольным импульсом потока ионов.

Список литературы

1. Вайсбурд Д. И., Пичугин В. Ф., Чебодаев М. И. Методика определения термического сопротивления контакта диэлектрик – подложка при интенсивных режимах облучения диэлектрика // Изв. вузов. Физика. №.12. 2001. с. 36-43.
2. Комаров Ф. Ф. Нано-и микроструктурирование твердых тел быстрыми тяжёлыми ионами // УФН. 2017. т.187. №.5. с.465-504.
3. Салихов Т. Х., Абдурахмонов А. А. Температурное поле пленок диэлектриков в поле непрерывного пучка ионов // Теплофизика и аэромеханика. 2017. Т.24. №6.- с. 981-984.
4. Салихов Т. Х., Абдурахмонов А. А. Формирование температурного поля диэлектрических пленок и подложки в поле непрерывного пучка ионов // Инженерно-физический журнал. 2018. Т.91. №6. с. 1497-1501.
5. Bondarenko V.N., Goncharov A.V., Sukhostavets V.I., Salikhov T.Kh., Abdurahmonov A. A. // Восточно-Европейский физический журнал. Харьков. 2017. V.4. №1. С. 62-69.
6. Диткин В. А., Прудников А. П. Операционное исчисление. – М.: Высшая школа. 1966. 406 с.
7. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел, Пер. с англ. (2-е изд.). - М.: Наука. 1964. 488 с.

ПЛОТНОСТЬ ПИЩЕВЫХ МАСЕЛ И ИХ РАСТВОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Маджидов Х., Шукрихудоев Х.

Таджикский государственный педагогический университет имени Садриддина Айни, г. Душанбе, Таджикистан

Экспериментально исследовано плотности растительных масел и их растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Для измерения плотности пищевых масел и его растворов использован метод гидростатического взвешивания [1].

В таблица 1 приведено экспериментальные данные по плотности растительных масел в зависимости от массовой концентрации дибутилфталата при комнатной температуре.

Как видно из таблица 1 плотность растительных масел с ростом массовой концентрации дибутилфталата увеличивается.

В таблицы 2 приведено экспериментальные данные по плотности пищевых масел в зависимости от температуры и массовой концентрации дибутилфталата, согласно которыми с ростом температуры плотность исследуемых объектов уменьшается, а с ростом массовой концентрации дибутилфталата увеличивается.

На рис. 1 показана характер изменения плотности подсолнечного масло в зависимости от массовой концентрации дибутилфталата при различных температурах.

Таблица 1

Плотность ($\rho, \frac{кг}{м^3}$) растительных масел в зависимости от концентрации дибутилфталата (n,%) при Т=293 К

Масло / n, %	Льняная	Подсолнечное	Хлопковая	Облепихо-вое
0	930	924	917	916
20	954	9492	944	942,8
40	980	9744	971	969,6
60	1002	999	997	996,4
80	1025	1024	1023,4	1023
100	1050	1050	1050	1050

Как видно из рис. 1 с ростом концентрации дибутилфталата, плотность облепихового масло увеличивается по линейному закону во всем интервале изменение температуры.

Таблица 2

Экспериментальное значения плотность $(\rho, \frac{кг}{м^3})$ подсолнечного масла в зависимости от температуры и массовой концентрации дибутилфталата

n, %	Т, К					
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15
0	923,0	905,0	888,2	871,0	853,5	836,0
20	948,0	930,2	912,4	895,0	877,3	859,3
40	974,0	955,4	937,8	918,5	901,2	882,0
60	999,3	980,6	962,5	942,7	924,7	905,9
80	1024,4	1005,8	987,2	967,0	949,0	929,3
100	1050	1031,3	1012,3	991,2	972,8	952,6

На рис 1. показана характер изменения плотности подсолнечного масло в зависимости от массовой концентрации дибутилфтала при различных температурах.

Как видно из рис.1 с ростом концентрации дибутилфталата, плотность облепихового масло увеличивается по линейному закону во всем интервале изменение температуры

Самую большую плотность имеют хлопковое и облепиховое масел, а самую меньшую –льняное и подсолнечное масло.

Как видно из табл. 1-2 с ростом температуры плотность пищевых масел, как в чистом виде, так и с добавлением дибутилфталата уменьшается.

Это можно объяснить тем, что при повышении температуры расстояния между молекулами растворов и их компонентов увеличивается, и это приводит к уменьшению их плотности.

Надо отметит, что плотность дибутилфталат больше, чем плотность пищевых масел во всем интервале изменение температуры. Это свидетельствует о том, что масса в единицы объеме дибутилфталата больше, чем пищевых масел.

Поэтому добавление дибутилфталата в состав пищевых масел приводит к увеличение плотности для всех массовой концентрации дибутилфталата во всем интервале температур, в котором проведено исследование.

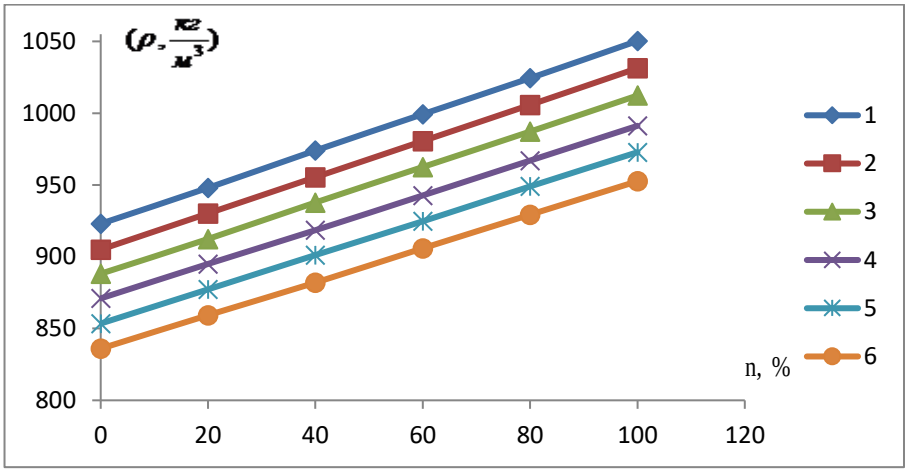


Рис. 1. Экспериментальных значений плотности подсолнечное масло в зависимости от массовой концентрации дибутилфталата и температуры:
1-298,15К; 2-323,15К; 3-348,15К; 4-373,15К; 5-398,15К; 6-423,15К.

Таким образом, чем больше будет массовой концентрации дибутилфталата, тем больше становится плотности растворов пищевых масел.

Для обработки и обобщения экспериментальных данных по плотности пищевых масел и их растворов в зависимости от температуры использовали закона соответственного состояния в виде следующих функциональной зависимости [2-6]:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = f(\frac{T}{T_1}), \tag{1}$$

где ρ –плотность исследуемых образцов при температуре Т, ρ_1 - плотность образцов при температуре T_1=373К.

На рис. 2 показана выполнимость зависимости (1) для исследованных пищевых масел и их растворов для различных массовой концентрации дибутилфталата.

Как видно из рис. 2 экспериментальные данные по плотности исследуемых объектов хорошо укладываются вдоль общей линии, которая описывается уравнением:

$$\rho = (-1{,}292 - 0{,}294\frac{T}{T_1}) \cdot \rho_1, \tag{2}$$

Уравнение (2) описывает температурную зависимость плотности пищевых масел.

С помощью уравнения (2) можно вычислить плотность исследованных пищевых масел в зависимости от температуры при известном значение ρ_1.

Анализ экспериментальных данных показало, что для исследуемых объектов ρ_1 является функция массовой концентрации дибутилфталата n в растворах пищевых масел.

Уравнения прямая линия на рисунке 3 для льняного масло имеет следующий вид:

$$\rho_1 = 333{,}3n + 657{,}6 \ \frac{кг}{м^3}, \tag{3}$$

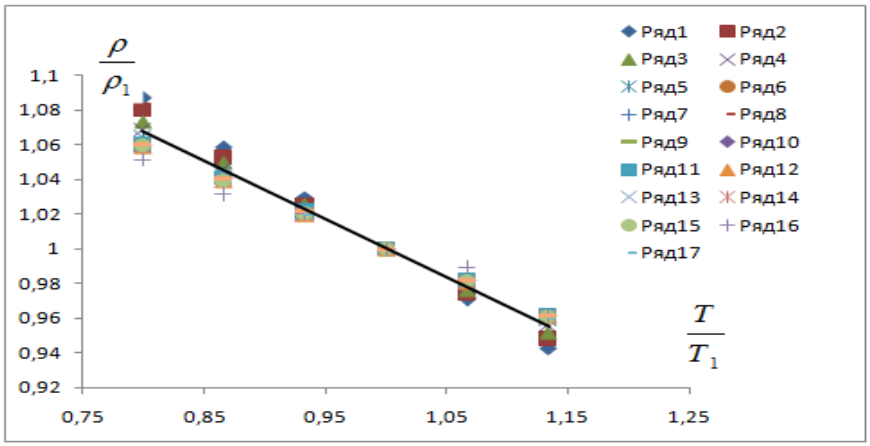


Рис. 2. Зависимость относительного плотность ρ/ρ_1 от относительного температуры T/T_1 для пищевых масел при различных массовой концентрации дибутилфталата: 1- дибутифталат; 2-5- льняное масло; 6-9- подсолнечное масло;10-13 хлопковое масло; 14-17- облепиховое масло.

Аналогично уравнению (3) зависимость значения ρ_1 от массовой концентрации дибутилфталата n соответственно для подсолнечных, хлопковых и облепиховых масел описывается уравнениями:

$$\rho_1 = 120{,}1n + 870{,}8\,,\ \frac{кг}{м^3}\,, \tag{4}$$

$$\rho_1 = 123{,}8n + 867\,,\ \frac{кг}{м^3}\,, \tag{5}$$

$$\rho_1 = 134{,}8n + 856\,,\ \frac{кг}{м^3}\,. \tag{6}$$

Из уравнения (2) с учётом уравнении (3) - (6) для расчёта плотности пищевых масел в зависимости от температуры и массовой концентрации дибутилфталата получим:

для льняного масло:

$$\rho = \left[-0{,}332\left(\frac{T}{T_1}\right) + 1{,}331\right](333{,}3n + 657{,}6),\ \frac{кг}{м^3}\,, \tag{7}$$

для подсолнечного масло:

$$\rho = \left[-0{,}332\left(\frac{T}{T_1}\right) + 1{,}331\right](120{,}1n + 870{,}8),\ \frac{кг}{м^3}\,, \tag{8}$$

для хлопковое масло:

$$\rho = \left[-0{,}332\left(\frac{T}{T_1}\right) + 1{,}331\right](123{,}8n + 867),\ \frac{кг}{м^3}\,, \tag{9}$$

для облепиховое масло:

$$\rho = \left[-0{,}332\left(\frac{T}{T_1}\right) + 1{,}331\right](134{,}8n + 856),\ \frac{кг}{м^3}\,. \tag{10}$$

Уравнение (7) – (10) с погрешностью не более 2% описывают плотность пищевых масел в зависимости от температуры и концентрации дибутилфталата.

Уравнение (7) – (10) позволяют вычислить плотность для разных значений массовой концентрации дибутилфталата в пищевых (хлопковых, льняной, подсолнечной, и облепиховой) масел в зависимости от температуры для инженерных расчётов.

Расчётные значения плотности пищевых масел и их растворов по уравнениям (7) – (10) с погрешностью до 2% совпадают с экспериментальными данными.

Литература

1.Голубьев И. Ф., Добровольский Д. А. Экспериментальное определение плотности жидкого азота при высоких давлениях и различных температурах. Газовая промышленность, 1964, №5, с. 43-45.

2.Маджидов Х. Теплопроводность сложных эфиров уксусной кислоты в зависимости от температуры и давления. Дис. на соиск. ученой степени канд. физ.-матем. наук, Душанбе,1972,230с.

3.Маджидов Х., Сафаров М.М. Теплофизические свойства пористой гранулированной окиси алюминия в зависимости от температуры в различных средах //Инженерно-физический журнал, -1986. –Т.50, №1, с. 136-137.

4.Маджидов Х., Эффективная теплопроводность и температура-проводность катализаторов и их носителей в зависимости от температуры в различных газовых средах и в вакууме //Инженерно-физический журнал, -1996. –Т.69, №2, с. 291-300.

5.Маджидов Х. Теплопроводность кетонов в зависимости от температуры и давления //Инженерно-физический журнал, -1984. –Т.47, №2, с. 256-262.

6.Нуриддинов З., Маджидов Х. Теплопроводность и плотность сложных эфиров фталевой кислоты //Инженерно-физический журнал, -1989. –Т.68, №5, с. 843-844.

ТЕПЛОЁМКОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ МАСЕЛ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Маджидов Х., Шукрихудоев Х.

Таджикский государственный педагогический университет имени Садриддина Айни, г. Душанбе

Различные масло, в том числе пищевые масло широко используются в производстве и как продукты питания. Для эффективного использования различных масел необходимо знать их теплофизические свойства в широкой области параметров состояния.

Нами экспериментально исследованы теплоемкости хлопковой, льняной, облепиховой, подсолнечной масел и их растворов в зависимости от температуры при атмосферном давлении.

Для исследования удельной теплоёмкости пищевых масел использовали прибор ИТ-С-400 [1] основанной на методе монотонного разогрева, разработанной В. С. Платуновым и его учениками и изготовленный в Актюбинском заводе.

Общая относительная погрешность измерения составляет 4-5 %.

Исследованием выявлено зависимость удельной теплоёмкости пищевых масел от температуры и массовой концентрации дибутилфталата.

В табл. 1 и рис.1. представлено экспериментальные данные по удельной теплопроводности пищевых масел (хлопковый, подсолнечный, льняный и облепиховый) в зависимости от температуры и массовой концентрация дибутилфталата.

Таблица 1

Теплоемкость (C_p, $10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К}$) хлопкового масло в зависимости от концентрации дибутилфталата и температуры

n, %	T, K					
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15
0	0,41	1,75	2,87	3,96	4,75	5,25
20	0,34	1,72	2,75	3,75	4,65	5,15
40	0,21	1,67	2,70	3,65	4,55	5,05
60	0,19	1,59	2,65	3,60	4,40	4,85
80	0,185	1,54	2,60	3,53	4,30	4,65
100	0,18	1,52	2,57	3,42	4,20	4,52

Согласно таблицы 1 и рис.1 теплоемкости хлопкового масло и льняного масло как в чистом виде так и содержащих различных количество дибутилфталата с ростом температуры увеличивается, а с ростом массовой концентрации дибутилфталата уменьшается.

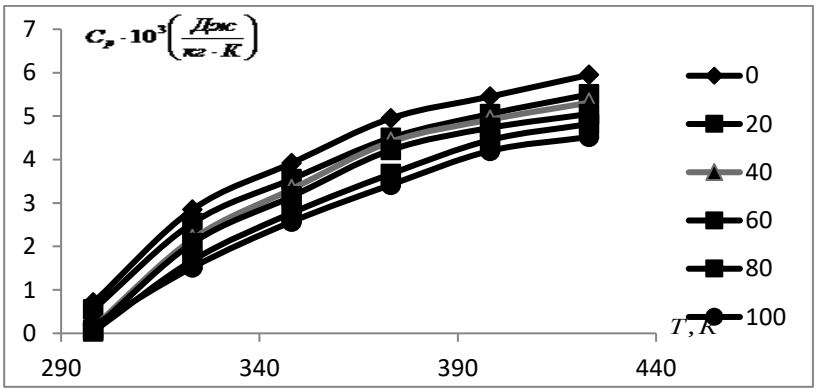


Рисунок 1. Удельная теплоемкость льняного масло в зависимости от температуры и массовой концентрации дибутилфталата (ДФ): 1-0-Льян. масло; 2-20% ДФ; 3-40% ДФ; 4-60% ДФ; 5-80% ДФ; 6-100% ДФ .

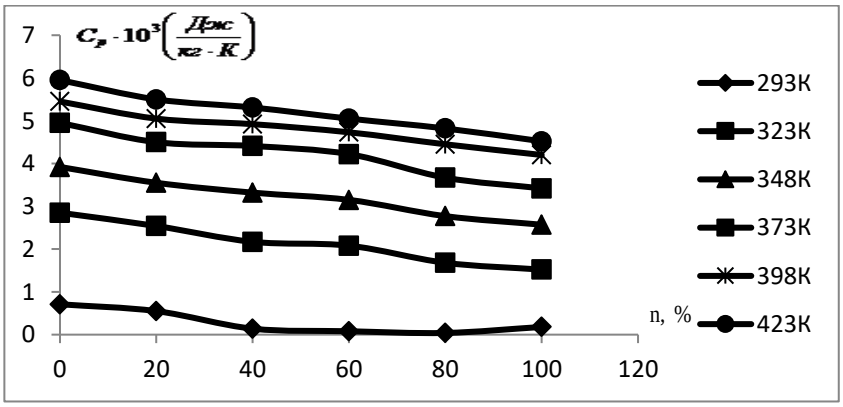


Рис. 2.Удельная теплоемкость льняного масло в зависимости от массовой концентрации дибутилфталата при температурах: 1-293К; 2-323К; 3-348К; 4-373К; 5-398К; 6-423К .

Согласно рис. 2 начиная от температуры 323К с ростом концентрации дибутилфталата удельная теплоемкость льняного масло уменьшается почти по линейному закону. Такая зависимость наблюдается для всех исследуемых пищевых масел .

Исследование показало, что среди пищевых масел самый большой удельной теплоемкости имеет льняное масло, по сравнению других масел.

Это свидетельствует о том, что при получении тепла, температура льняного масла медленно повышается по сравнению других исследуемых масел.

Таким образом, по полученным результатом по значение удельной теплоемкости пищевых масел можно рассудит о скорость повышения температуры пищевых масел и расхода количество теплоты при их нагревании.

Полученные результаты по удельной теплоемкости могут быт использованы в технология приготовления пищевых продуктов.

Надо отметить, что удельная теплоемкость пищевых масел больше, чем удельная теплоемкость их растворов, а удельная теплоемкость дибутилфталата намного меньше чем удельная теплоемкость пищевых масел.

Поэтому добавление дибутилфталата в состав пищевых масел приводит к уменьшению их удельной теплоемкости, с увеличением массовой концентрации дибутилфталата удельная теплоемкость пищевых масел уменьшается во всем интервале изменение температуры.

Как была отмечена, с ростом температуры удельная теплоемкость пищевых масел как в чистом виде, так и содержащих различных количество дибутилфталата с ростом температуры увеличивается.

Можно сделать вывод, что увеличением удельная теплоемкость растворов пищевых масел с повышением температуры связано с ростом удельной теплоемкости пищевых масел и дибутилфталата с повышением температуры.

Таким образом, увеличение удельной теплоемкости растворов пищевых масел зависит от роста удельной теплоемкости пищевых масел и дибутилфталата.

Выяснили, что с повышением температуры скорость повышения температуры и расход количество теплоты при нагревании для пищевых масел и их растворы, а также для дибутилфталата увеличивается.

Для обработки и обобщения экспериментальных данных пищевых масел и их растворов по удельной теплоёмкости нами использован закон соответственного состояния в виде следующих функциональной зависимости [2 – 5]:

$$\frac{C_p}{C_{p_1}} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \qquad (1)$$

где C_p–удельная теплоёмкость при температуре Т, C_{p_1} - удельная теплоёмкость при температуре T_1=373К.

На рисунке 3 показана выполнимость зависимости (1).

Как видно из рис. 3 экспериментальные данные по удельной теплоёмкости исследуемых объектов хорошо укладываются вдоль общей кривой, которая описывается уравнением:

$$C_p = C_{p_1}\left[-8{,}80\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 20{,}05\frac{T}{T_1} - 10{,}25\right], \ \frac{Дж}{кг \cdot К}; \qquad (2)$$

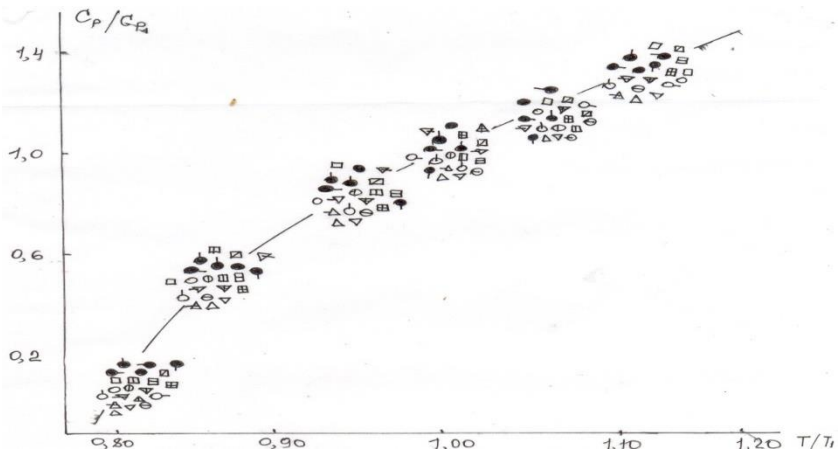


Рис.3.Зависимость $\frac{c_p}{c_{p_1}}$ от $\frac{T}{T_1}$ пищевых масел при различной массовой концентрации дибутилфталата: △ -льяный масло (ЛМ) ; ▽ -ЛМ+20%;

△ -ЛМ+40%; ▲ -ЛМ+60%; ▽- ЛМ+80%; ▼ -ЛМ+100%; ○-хлопковое масло (ХМ) ; Φ- ХМ+20%; Θ- ХМ +40%; Φ- ХМ+60%; Θ - ХМ+80%; □- облепиховое масло (ОМ); ⊡- ОМ+20%; ⊟- ОМ+40%; ⊞- ОМ+60%; ⊠- ОМ+80%;
● - подсолнечное масло (ПМ); ◆- ПМ+20%; ◆- ПМ+40%; ◆- ПМ+60%; ◆- ПМ+80%

Уравнение (2) описывает температурную зависимость удельной теплоёмкости пищевых масел. С помощью уравнения (2) при известном значении C_{p_1} можно вычислить удельную теплоёмкость исследуемых объектов в зависимости от температуры.

Анализ показал, что для исследуемых объектов C_{P_1} зависит от массовой концентрации дибутилфталата n.

Зависимость C_{P_1} от массовой концентрации дибутилфталата n для растворов льняного масло описывается уравнением:

$$C_{P_1} = 4{,}95T - 0{,}0153n, \frac{Дж}{кг \cdot K}. \quad (3)$$

Аналогично уравнению (3) зависимости значения C_{p_1} от массовой концентрации дибутилфталата соответственно для хлопковых, подсолнечных и облепиховых масел описывается уравнениями:

$$c_{P_1} = 3895 - 6{,}134n - 0{,}152n^2, \frac{Дж}{кг \cdot K}; \quad (4)$$

$$c_{P_1} = 3741 - 6{,}963n - 0{,}3846n^2, \frac{Дж}{кг \cdot K}; \quad (5)$$

$$c_{P_1} = 2416 + 17{,}326n - 0{,}7545n^2, \frac{Дж}{кг \cdot K}; \quad (6)$$

Из уравнения (2) с учётом уравнении (3)-(6) для расчёта удельной теплоём-кости пищевых масел в зависимости от температуры и массовой концентра-ции дибутилфталата получим:

для льняного масла

$$c_p = (4{,}95T - 0{,}0153n)\left[-8{,}80\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 20{,}05\left(\frac{T}{T_1}\right) - 10{,}25\right], \quad \frac{Дж}{кг \cdot К}; \qquad (7)$$

для хлопкового масла

$$c_p = (3895 - 6{,}134n - 0{,}152n^2)\left[-8{,}80\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 20{,}05\frac{T}{T_1} - 10{,}25\right], \frac{Дж}{кг \cdot К}; \qquad (8)$$

для подсолнечного масла

$$c_p = (3741 - 6{,}963n - 0{,}3846n^2)\left[-8{,}80\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 20{,}05\frac{T}{T_1} - 10{,}25\right], \frac{Дж}{кг \cdot К}; \qquad (9)$$

для облепиховый масла

$$c_p = (2416 + 17{,}326n - 0{,}7545n^2)\left[-8{,}80\left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 20{,}05\frac{T}{T_1} - 10{,}25\right], \frac{Дж}{кг \cdot К}; \qquad (10)$$

Уравнение (7)-(10) с погрешностью 4-5% описывают удельную теплоёмкость пищевых масел в зависимости от температуры и концентрации дибутилфталата.

Полученные уравнения (7)-(10) позволяют вычислить удельную теплоёмкость для разних значений массовой концентрации дибутилфталата в пищевых (льняной, хлопковый, подсолнечный и облепиховой) масел с погрешностью 4-5% в зависимости от температуры для инженерных расчётов.

Литература

1.Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотоном режиме.-М.:Энергия, 1973, 142с.
2.МаджидовХ. –Инжинерно - физический журнал.1996, т.69, №2,с.291-300.
3.Маджидов Х.. Зубайдов С -Доклады АН Тадж. ССР, 1984, т.27, №8, с.465-471.
4.Маджидов Х.,Сафаров М.М.Инжинерно-физический журнал .1986, т.50, №3, с.465-471.
5.Маджидов Х.,Сафаров М.М.-Теплофизика высоких температур, 1986,т.24, №6, с.1037.

О ТЕРМИЧЕСКОМ МОДУЛЕ УПРУГОСТИ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

[1]Зарифзода А.К., [2]Бозорова Ю.К.
1 Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан
2 Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, Душанбе, Таджикистан
E-mail: 99fzal.z@mail.ru

Магнитные жидкости являются одним из важных технических материалов, входящих к группу умных материалов. В технических устройствах многие колебательные системы, созданные на основе магнитных жидкостей, такие как амортизаторы и демпфирующие устройства, датчики перемещения и акустические системы, основаны на упругих колебаниях магнитных жидкостей [1–3]. Также в теплотехнике магнитные жидкости широко используются в качестве теплообменников, радиаторов, хладагентов и систем преобразования энергии [4, 5]. В последние годы проведено большое количество

как экспериментальных, так и теоретических исследований процессов теплопроводности в магнитных жидкостях [6, 7]. Однако в этих исследованиях определяется только статическое значение коэффициента теплопроводности и при измерениях не учитываются релаксационные процессы, являющимися важными при исследовании свойств магнитных жидкостей.

В связи с этим исследование термоупругих свойств магнитных жидкостей с учетом различных релаксационных процессов до сих пор остается актуальной задачей.

Целью настоящего сообщения является получение аналитического выражения для термического модуля упругости двухкомпонентной магнитной жидкости на основе метода кинетических уравнений и проведение численных расчетов.

Ранее в [8] на основе кинетических уравнений для одночастичной $f_{1i}(\mathbf{q}_1,\mathbf{p}_1,t)$ и двухчастичной $f_{2i}(\mathbf{q}_1,\mathbf{q}_2,\mathbf{p}_1,\mathbf{p}_2,t)$ функций распределения двухкомпонентной магнитной жидкости, состоящей из компонентов магнитных частиц и молекул жидкости-носителя с частицами сорта $i=\mathrm{f},\mathrm{s}$, соответственно, была выведена система уравнений обобщенной гидродинамики. В уравнения гидродинамики в состав уравнения сохранения энергии входят векторы потока тепла $\mathbf{S}_i(\mathbf{q}_1,t)$, микроскопическое выражение для компонентов которого имеет вид:

$$S_i^{\alpha}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)=S_{ki}^{\alpha}(\mathbf{q}_1,t)+\frac{\sigma_i^3}{4}\int\left(\Phi_i(r)\delta^{\alpha\beta}-\frac{d\Phi_i(r)}{dr}\frac{r^{\alpha}r^{\beta}}{r}\right)J_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)d\mathbf{r}, \qquad (1)$$

где $S_{ki}^{\alpha}(\mathbf{q}_1,t)=\frac{1}{2}\int\frac{\tilde{p}_{1i}^2 p_{1i}^{\alpha}}{m_i^2}f_{1i}(\mathbf{q}_1,\mathbf{p}_1,t)dp_1$ – кинетическая часть вектора потока тепла i-й подсистемы, $J_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)=\int\frac{\tilde{p}_{1i}^{\alpha}}{m_i}f_{2i}(\mathbf{q}_1,\mathbf{q}_2,\mathbf{p}_1,\mathbf{p}_2,t)d\mathbf{p}_1d\mathbf{p}_2$ – неравновесный бинарный поток частиц, p_{1i}^{α}, $\tilde{p}_{1i}^{\alpha}=p_{1i}^{\alpha}-m_iv_i^{\alpha}$ – компоненты импульса и относительного импульса частиц подсистем магнитной жидкости.

Согласно (1) компоненты вектора потока тепла определяются посредством $S_{ki}^{\alpha}(\mathbf{q}_1,t)$ и $J_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)$, для которых необходимо иметь уравнение.

Умножая уравнение для $f_{1i}(\mathbf{q}_1,\mathbf{p}_1,t)$ на $\tilde{p}_{1i}^{\alpha}\tilde{p}_{1i}^{\beta}\tilde{p}_{1i}^{\gamma}/(2m_i^2)$ и уравнение для $f_{2i}(\mathbf{q}_1,\mathbf{q}_2,\mathbf{p}_1,\mathbf{p}_2,t)$ на p_{1i}^{α}/m_i, с последующем интегрированием первого уравнения по $d\mathbf{p}_1$ и второго уравнения по $d\mathbf{p}_1d\mathbf{p}_2$ для $S_{ki}^{\alpha}(\mathbf{q}_1,t)$ и $J_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)$ получим следующие уравнения:

$$\begin{gathered}\frac{\partial S_{ki}^{\alpha}}{\partial t}+\frac{5}{2}\frac{k}{m_i}P_{ki}(0)\frac{\partial T}{\partial q_1^{\alpha}}+\frac{5}{2}\frac{kT_0}{m_i}\frac{\partial P_{ki}}{\partial q_1^{\alpha}}+\frac{5}{2}\frac{kT_0}{m_i}\frac{\partial K_i^{\alpha\beta}}{\partial q_1^{\beta}}=-\frac{3\beta_i}{m_i}S_{ki}^{\alpha}+\frac{5\beta_i}{m_i^2}j_{1i}^{\alpha},\\ \frac{\partial J_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)}{\partial t}+\omega_{1i}J_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)+\omega_{0i}\hat{L}_iJ_{2i}^{\beta}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)=Q_i^{\alpha}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t),\end{gathered} \qquad (2)$$

где

$$Q_i^{\alpha}(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)=\frac{\omega_{1i}n_i^2kT_0g_i(r)}{\beta_i}\frac{r^{\alpha}r^{\beta}}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial\ln g_i(r)}{\partial T}\right)_P\frac{\partial T}{\partial q_1^{\beta}}-$$
$$-\frac{\omega_{1i}n_i^2kT_0g_i(r)}{\beta_i}\left(\frac{\partial\ln g_i(r)}{\partial T}\right)_P\frac{\partial T}{\partial q_1^{\alpha}}-\frac{\omega_{1i}n_i^2}{\beta_i}\mu_0m^{\beta}\frac{\partial H^{\alpha}}{\partial q_1^{\beta}}\frac{\partial g_i(r)}{\partial r},$$

$\hat{L}_i = -\frac{\partial}{\partial r^\alpha}\left[\frac{\partial}{\partial r^\alpha} - \frac{\partial}{\partial r^\alpha}\ln g_i(r)\right]$, $\omega_{1i} = \frac{1}{\tau_{1i}} = \frac{3\beta_i}{m_i}$, $\omega_{0i} = \frac{2kT}{\beta_i\sigma_i^2}$, n_i, m_i, β_i, g_i, σ_i – числовая плотность, масса, коэффициент трения, радиальная функция распределения и диаметр частиц соответствующей подсистемы, соответственно, T_0, $T(\mathbf{q}_1,t)$ – равновесная и неравновесная температуры, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, m^β – соответствующая компонента магнитного момента магнитных частиц. Во выражении $Q_s^\alpha(\mathbf{q}_1,\mathbf{r},t)$ слагаемое, учитывающее влияние внешнего магнитного поля, равно нулю.

Теперь на основе (1) с учетом (2) можно исследовать термоупругие свойства магнитных жидкостей. Решая уравнения (2) аналогично решению, приведенному в [8], подставляя их в (1) и совершая в нем фурье-преобразование по времени, для динамического термического модуля упругости магнитной жидкости получим:

$$\begin{aligned} Z(\omega) = \sum_{i=f,s}\Bigg[\frac{5}{2}\frac{\rho_i k^2}{m_i^2}\frac{T_0(\omega\tau_{1i})^2}{1+(\omega\tau_{1i})^2} + \frac{n_i^2\sigma_i^3\omega}{12\pi}\Bigg(\int_0^\infty \Phi_{1i}(r)d\mathbf{r}\int_0^\infty \Theta_{2i}(r,r_1,\omega)A_{1i}(r_1)d\mathbf{r}_1 + \\ + \int_0^\infty \Phi_{2i}(r)d\mathbf{r}\int_0^\infty \Theta_{2i}(r,r_1,\omega)A_{2i}(r_1)r_1 d\mathbf{r}_1\Bigg)\Bigg] + \frac{n_f^2\sigma_f^3\mu_0 mH\omega}{36\pi\beta_f l}\times \\ \times\int_0^\infty \Phi_{1f}(r)d\mathbf{r}\int_0^\infty \Theta_{2f}(r,r_1,\omega)\left(\frac{\partial g_f(r_1)}{\partial T}\right)_p d\mathbf{r}_1, \end{aligned} \tag{3}$$

где $\Phi_{1i}(r) = 3\left(\Phi_i(r) - \frac{1}{3}r\frac{d\Phi_i(r)}{dr}\right)$, $\Phi_{2i}(r) = \Phi_i(r) - r\frac{d\Phi_i(r)}{dr}$, $A_{1i}(r_1) = \frac{kT_0}{\beta_i}\left(\frac{\partial g_i(r_1)}{\partial T}\right)_p$,

$A_{2i}(r_1) = -\frac{2kT_0}{\beta_i}g_i(r_1)\frac{\partial}{\partial r_1}\left(\frac{\partial \ln g_i(r_1)}{\partial T}\right)_p$, $\varphi_{(12)i} = (\omega\tau_{0i})^{1/2}(r \mp r_1)$,

$$\Theta_{2i}(r,r_1,\omega) = -\frac{(\omega\tau_{0i})^{-1/2}}{4\pi r r_1}\left[e^{-\varphi_1}(\sin\varphi_1 + \cos\varphi_1) - e^{-\varphi_2}(\sin\varphi_2 + \cos\varphi_2)\right].$$

Как видно из (3), при определении термического модуля упругости учитывается как трансляционная релаксация векторов потока тепла с временами τ_{1i}, так и процессы структурной релаксации посредством функции $\Theta_{2i}(r,r_1,\omega)$ с характерными временами структурной релаксации τ_{0i}

Для проведения численных расчетов в (3) необходимо выбирать явный вид потенциалов $\Phi_i(r)$ и соответствующих радиальных функций распределения $g_i(r_1)$. Потенциальную энергия $\Phi_s(r)$ для молекулярной системы в соответствии с [8] выбираем в виде модели Штокмайера, т.е как суммы потенциала Леннард-Джонса и потенциальной энергии диполь-дипольного взаимодействия:

$$\Phi_s(\mathbf{r}) = \Phi_s^{L-J}(r) + \Phi^{pp}(\mathbf{r}), \tag{4}$$

где $\Phi_s^{L-J}(r) = 4\varepsilon_s\left(r^{-12} - r^{-6}\right)$, $\Phi^{pp}(\mathbf{r}) = \frac{p^2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\sigma_s^3}\left[\frac{(\mathbf{e}_a\mathbf{e}_b)}{r_{ab}^3} - \frac{3(\mathbf{e}_a\mathbf{r}_{ab})(\mathbf{e}_b\mathbf{r}_{ab})}{r_{ab}^5}\right]$.

Потенциальную энергию $\Phi_f(r)$ для магнитной подсистемы выбираем в виде суммы потенциальных энергий Леннард-Джонса, энергии диполь-дипольного взаимодействия магнитных частиц и их взаимодействия с внешним магнитным полем:

$$\Phi_{\mathrm{f}}(\mathbf{r},\mathbf{H}) = \Phi_{\mathrm{f}}^{\mathrm{L-J}}(r) + \Phi^{\mathrm{mm}}(\mathbf{r}) + \Phi^{\mathrm{H}}(\mathbf{H}), \tag{5}$$

где $\Phi_{\mathrm{f}}^{\mathrm{L-J}}(r) = 4\varepsilon_{\mathrm{f}}\left(r^{-12} - r^{-6}\right)$, $\Phi^{\mathrm{mm}}(\mathbf{r}) = \dfrac{\mu_0 m^2}{4\pi\sigma_{\mathrm{f}}^3}\left[\dfrac{(\mathbf{e}_a\mathbf{e}_b)}{r_{ab}^3} - \dfrac{3(\mathbf{e}_a\mathbf{r}_{ab})(\mathbf{e}_b\mathbf{r}_{ab})}{r_{ab}^5}\right]$, $\Phi^{\mathrm{H}}(\mathbf{H}) = -\mu_0\mathbf{mH}$.

Радиальные функции распределения, следуя [9] выбираем в виде

$$\begin{aligned} g_{\mathrm{s}}(r, n_{\mathrm{s}}, T) &= y_{\mathrm{s}}(\rho^*)\exp\left[-\Phi_{\mathrm{s}}(\mathbf{r})/kT\right], \\ g_{\mathrm{f}}(r, T, H) &= \exp\left[-\Phi_{\mathrm{f}}(\mathbf{r},\mathbf{H})/kT\right], \end{aligned} \tag{6}$$

где $y_{\mathrm{s}}(\rho^*) = (2-\rho_{\mathrm{s}}^*)/2(1-\rho_{\mathrm{s}}^*)^3$ – контактная функция Карнахана–Старлинга для молекулярной подсистемы, соответствующей системе с плотноупакованными твердыми частицами, $\rho_{\mathrm{s}}^* = \pi\sigma_{\mathrm{s}}^3 n_{\mathrm{s}}/6$.

Таким образом, на основе (3) с учетом выбранных потенциальных энергий взаимодействия и соответствующих радиальных функций распределения (4–6) можно провести численные расчеты.

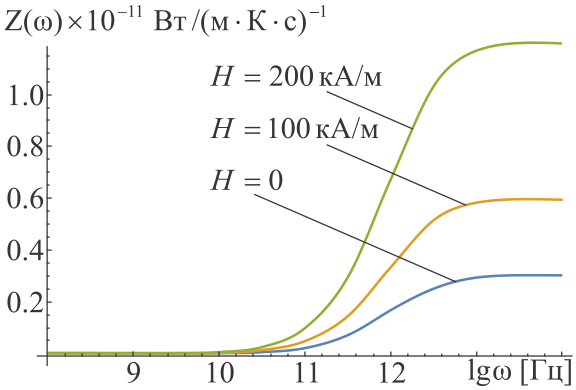


Рис. 1. Зависимости термического модуля упругости от частоты в магнитной жидкости на основе керосина при $\varphi = 0.08$, $T = 293\,\mathrm{K}$.

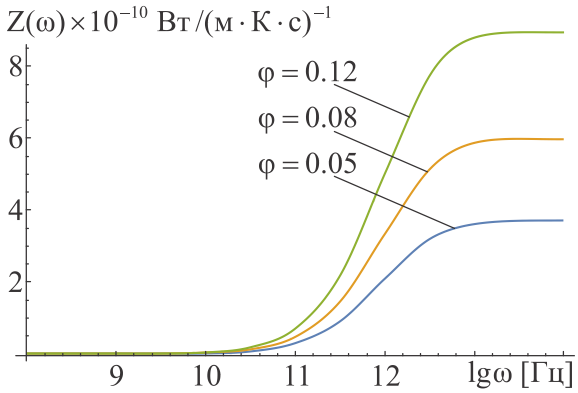


Рис. 2. Термического модуля упругости от частоты в магнитной жидкости на основе керосина при $H = 0$, $T = 293\,\mathrm{K}$.

На рисунке 1 представлены результаты численных расчетов частотной зависимости термического модуля упругости в магнитной жидкости на основе керосина при концентрации магнитных частиц $\varphi = 0.08$ и различных значений напряженности внешнего магнитного поля . На рисунке 2 продемонстрированы результаты численных расчетов зависимости термического модуля упругости от частоты в отсутствии внешнего магнитного поля при различных значениях концентрации магнитных частиц.

Согласно рисункам 1 и 2 с увеличением частоты $Z(\omega)$ нелинейно возрастает и наблюдается широкая область частотной дисперсии термического модуля упругости, что является следствием учета структурных релаксационных процессов. Уместно отметить, что поведение частотной зависимости термического модуля упругости магнитных жидкостей, аналогично поведению частотной зависимости динамических объемного и сдвигового модулей упругости магнитных жидкостей [10].

Литература

1. Полунин В.М. Акустические свойства нанодисперсных магнитных жидкостей – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 384 с.

2. Odenbach S. Ferrofluids: Magnetically Controllable Fluids and Their Aplications – Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. – 256 p.
3. Odenbach, S. Colloidal Magnetic Fluids: Basics, Development and Application of Ferrofluids – Springer, Berlin Heidelberg, 2009. – 430 p.
4. Sheikholeslami M., Rashidi M.M. Effect of space dependent magnetic field on free convection of Fe3O4–water nanofluid // J. Taiwan Inst. Chem. Eng. – 2015. – V. 56. – P. 6–15.
5. Nkurikiyimfura I., Wang Y., Pan Z., Heat transfer enhancement by magnetic nanofluids – A review // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2013. – V. 21. – P. 548–561.
6. Abareshi M., Goharshadi E.K., Zebarjad S.M., Fadafan H.K., Youssefi A. Fabrication, characterization and measurement of thermal conductivity of Fe3O4 nanofluids // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2010. – V. 322. – № 24. – P. 3895–3901.
7. Philip J., Shima P.D., Baldev R. Enhancement of thermal conductivity in magnetite based nanofluid due to chainlike structures // Applied Physics Letters. – 2007. – V. 91. – № 20. – P. 203108–203108-3.
8. Комилов К., Зарипов А.К., Убайди А. Частотная дисперсия коэффициента сдвиговой вязкости и магнитовязкий эффект в магнитных жидкостях // Журн. Физ. Химии. – 2020. – Т. 94. – С. 1279–1284.
9. Юхновский И.Р., Головко М.Ф. Статистическая теория классических равновесных систем – Киев: Наукова думка, 1980. – 372 с.
10. Комилов К., Зарипов А.К. О частотной дисперсии коэффициентов вязкости и модулей упругости электропроводных магнитных жидкостей // Вест. Тадж. Нац. Ун-та, серия ест. Наук. – 2018. – № 3. – С. 130–136.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ В ГОРНЫХ И ПРЕГОРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Д.А. Абдушукуров
Физико-технический институт им. СУ Умарова НАНТ

Аннотация

В бассейне реки Варзоб выявлены две зоны с аномально высокой концентрацией радиоактивных изотопов, в составе донных отложений рек и прибрежных почвах, это: ущелье реки Оджук и вход в ущелье Сиома.

Ключевые слова: река Варзоб, торий, уран, изотопы ториевого и урановых рядов, радон, цезий-137.

Ранее в одной из наблюдательных точек в Варзобском ущелье, в пробах почвы была обнаружена повышенная концентрация техногенного изотопа Цезий-137. Активность Цезия превышала более чем в 4 раза максимальные значения активности образцов, собранных по всей Центральной Азии.

Специалисты ядерщики приступили к изучению этого феномена. Следует отметить, что во времена существования СССР на территории ущелья реки Варзоб велась активная деятельность, связанная с горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленностью.

В ходе выполнения эксперимента были отобраны образцы донных отложений и прилегающих почв вдоль реки Варзоб. В лабораторных условиях отобранные образцы были высушены, размолоты и взвешены. Для эксперимента были выбраны 21 точка отбора образцов. При этом точки от Tj23 до Tj1 были выбраны в горах, а точки от Tj48 до Tj2 в равниной части долины.

Альфа и бета активность образцов измерялась при помощи радиометров, гамма-спектрометрия проводилась с использованием гамма спектрометра высокого разрешения с использованием сосуда Маринели объемом 500 см^3 на коаксиальном Ge детекторе (XtRa) GX-1020 с помощью многоканального анализатора DSA-1000 под управлением программного обеспечения Genie-2000 фирмы Канбера.

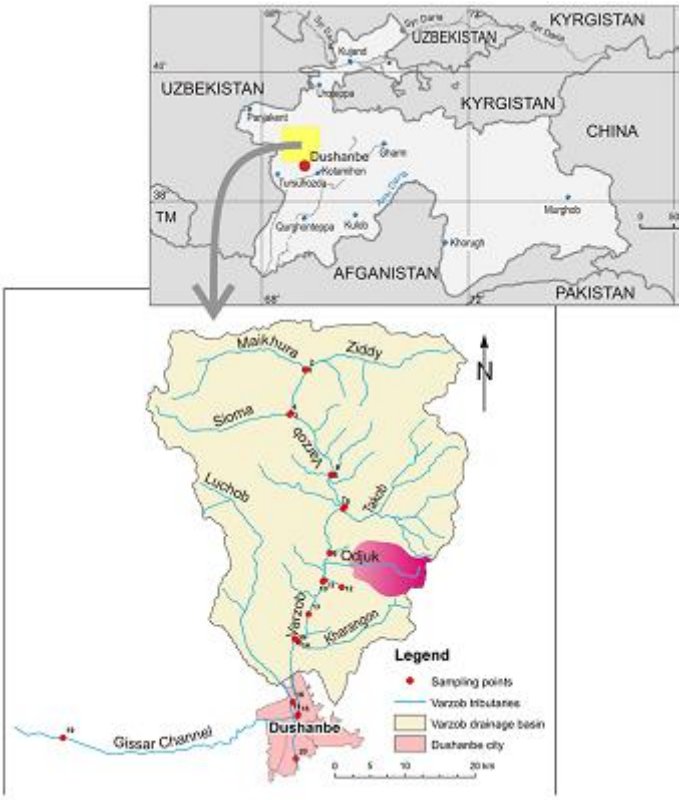


Рис. 1. Точки отбора образцов в Варзобском ущелье

Элементный анализ концентрации урана и тория в образцах проводился при помощи нейтронно-активационного анализа, проведенного в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, г. Улугбек.

На рисунке 2 показана суммарная α- и β- активность образцов донных отложений. Хорошо видны два пика активности образцов в точках отбора: Сиома, Оби Чаппа и Оджук. Альфа активность образцов в этих точках выше бета активности, хотя в долинной части реки активности примерно равны. Альфа и бета активности донных отложений показали неплохую математическую корреляцию r^2=0.88. В долинной части корреляция выше.

В распределении тория и урана, также видны две аномальные зоны, приуроченные к ущелью Сиома и Оджукскому пегматитовому пятну.

Отдельно были просуммированы активности изотопов ториевого и урановых рядов. Сумма изотопов ториевого ряда хорошо коррелируют с концентрациями тория в образцах (r^2=0,99), изотопов уранового ряда с ураном (r^2=0,95).

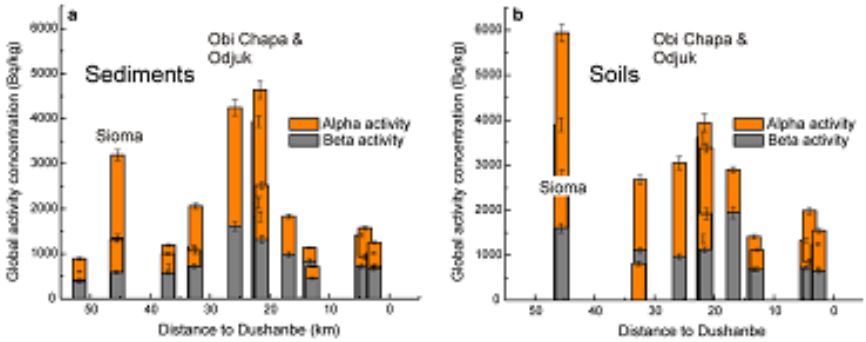


Рис. 2. Альфа и бета активность образцов

Немного иначе изотопы распределены в образцах прибрежных почв. В горных ущельях прибрежные почвы зачастую бывают единственными почвами пригодными для земледелия. В горах материнским основанием для почв служат террасы из алювиальных отложений, а в долинах в основном лёссовые породы достигающие глубины 100 м и ниже. На элементный и изотопный состав почв в горных ущельях оказывают влияние горные материнские породы, донные отложения рек и состав воды при наличии ирригации или затопления.

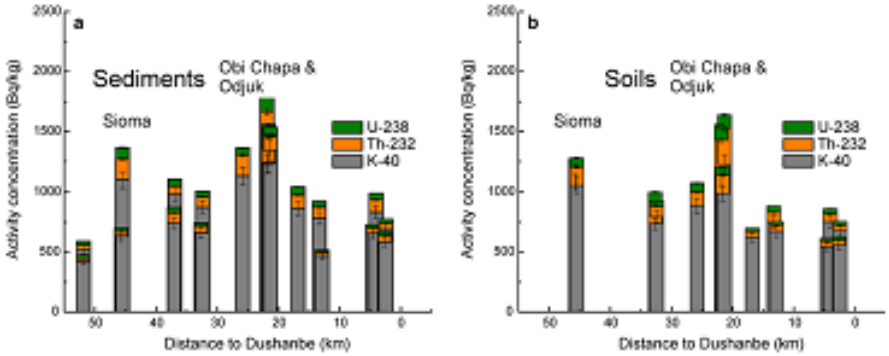
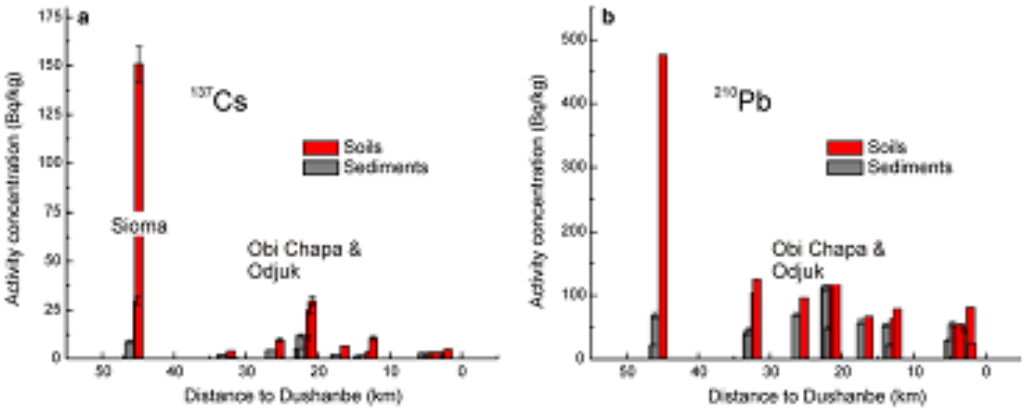


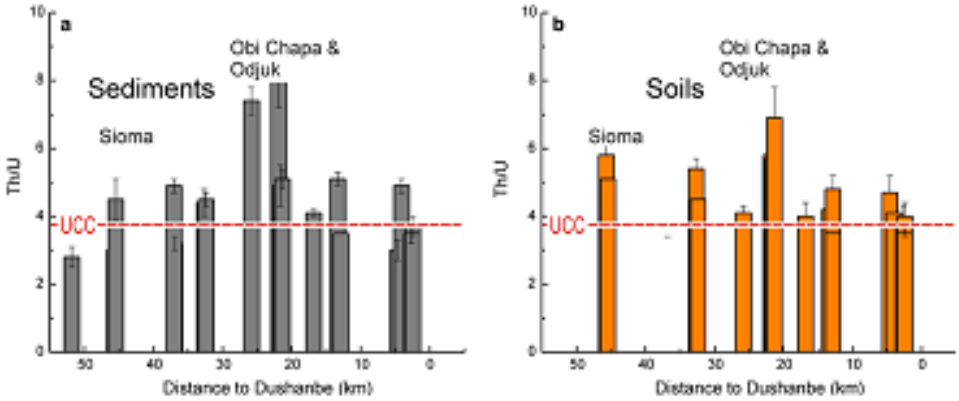
Рис. 3. Концентрация изотопов урана, тория и калия 40

Распределение тория и урана в почвах повторяет картину распределение их изотопов, хотя отличаются от распределения металлов в донных отложениях.

Отдельно просуммированные изотопы ториевых и урановых рядов показали разную корреляцию с торием и ураном, так корреляция концентрации тория с их изотопами очень высока r^2=0,99, а для урана и его изотопов ниже r^2=0,72.



При анализе дочернего изотопа радона Pb-210 выявлена аномальная зона осаждения в точке отбора Сиома, рис. 10.



Получено распределение содержаний природных и техногенных радиоактивных изотопов в составе прибрежной почвы и донных отложениях реки Варзоб и ее притоков.

Выявлены два максимума в распределении урана и тория - один в районе ручья Оджуг, (выше ПГТ Варзоб), и второй в начале реки Сиома.

Отмечено высокое содержание радиоактивного изотопа Cs-137 в составе почвы в ущелье реки Сиома. Отмеченные загрязнения значительно превышают средний уровень аналогичных загрязнений в регионе Центральной Азии.

Впервые на экспериментальном уровне зарегистрировано явление концентрирования горными ущельями загрязнений, переносимых воздушными аэрозолями.

Ущелье реки Ходжи Оби Гарм, с точки зрения радиационной экологии, является одним из самых чистых мест в Варзобском ущелье. В донных отложениях термальных источников не было обнаружено техногенных изотопов, а содержание природных изотопов, в особенности Уранового и Ториевого рядов, оказалось в пределах средних значений по всему ущелью. Этот факт поставил под сомнение утверждение, о том, что в термальных водах Ходжи Оби Гарма содержится значительное количество радона и торона.

По распределению тория, урана и их изотопов прослеживается Ходжа Обигармский геологический разлом который делит район на две подзоны, отличающиеся в геохимическом отношении. Среднее содержание Урана и Тория в гранитоидах северо-варзобского комплекса $3.7* 10^{-6}$ и $18*10^{-6}$ г/г, а в южноварзобских гранитах оно несколько выше - $6.5* 10^{-6}$ и $27* 10^{-6}$ г/г соответственно.

Литература

1. Ущелье Варзоб: https://www.gst.tj/ushchele-varzob
2. Бахтдавлатов, Р.Д. «Полезные ископаемые Таджикистана», www.geoportal-tj.org/images/pi_tjk.pdf
3. Атлас Таджикской ССР, (1968), – Душанбе: Географическое общество СССР.
4. D. A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda, A. A. Djuraev, O. G. Duliu, M. V. Frontasyeva, “Distribution of radioactive isotopes in the mountain and piedmont regions of Central Tajikistan Varzob river valley”, J Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 318, #3, pp. 1873-1879 (2018). (impact factor 1.186) https://doi.org/10.1007/s10967-018-6206-5

5. D. Abdusamadzoda, D.A. Abdushukurov, I. Zinicovscai, O.G. Duliu, K.N. Vergel. «Assessment of the ecological and geochemical conditions in surface sediments of the Varzob river, Tajikistan», *Microchemical Journal, 158 (2020), 105173*
6. D.A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda, O.G. Duliu, and M.V. Frontasyeva, «Geochemical and Isotope Anomalies in Sioma River Gorge, Western Tajikistan», Radiation, MDPI, 2021, 1, 145–152. https://doi.org/10.3390/radiation1020013

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СОСТАВЕ ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ

Умаров Н.Н., *Абдуллаев С.Ф., *Юсупов И.Х., Абдуманонов А.
ХГУ им. академика Б.Гафурова, Худжанд, Таджикистан,
***Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе, Таджикистан*
E-mail: nasimchon-74@mail.ru

Известно, что тяжёлые металлы (ТМ) присутствуют практически во всех компонентах экосистем и вносят заметный вклад в формирование структуры и свойств биообъектов. Миграция ТМ в окружающей среде и их участие в биохимических процессах в значительной степени зависят от концентрации содержания ТМ в почвах и атмосфере.

Распределение ТМ в экосистеме довольно сложно и зависит от многих факторов. Почва является важнейшей составляющей экосистемы, которая наряду с другими полезными элементами, аккумулирует загрязняющие вещества. При поступлении ТМ в почву выше нормы её физико-химические свойства заметно изменяются и, как правило, ведут к ухудшению почвенного плодородия [1-4].

Изучение физико-химических свойств растений в зависимости от концентрации ТМ позволяет количественно оценить распределение загрязняемых веществ в экосистеме. Поэтому важными объектами исследований могут быть почва и растения, которые непосредственно участвуют в круговороте ТМ в экосистеме.

С целью мониторинга окружающей среды привлекаются современные физико-химические методы. Степень точности полученных результатов и скорость получения конечных результатов естественно повышается, когда мониторинг проводится в режиме реального времени с мощными компьютерами, обладающим хорошим математическим обеспечением. Построения математической модели оценки концентрации с использованием результатов наблюдений над распространением ТМ позволяют более надёжно организовать мониторинг и контроль параметров техногенного загрязнения почвы и растений, произрастающих в данной местности. Важным является также идентификация источников загрязнения на основе количественного мониторинга, так как её решение позволяет оценить вклад отдельных источников в загрязнение почвы, растений и экосистемы в целом.

Экологическое состояние почв и его влияние на рост и развитие растений описывается большим числом параметров и множеством внутренних взаимосвязей. Для оценки степени достоверности количественных результатов применяется метод наименьших квадратов (МНК) [5, 6].

Целью настоящей работы является исследование взаимосвязи содержания ТМ в почве и полыни горькой (*Artemisia absinthium l.*) методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Образцы полыни горькой собраны из Бабаджангафуровского и Аштского районов и хвостохранилища Дегмай. Характеристики мест произрастания растений приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Место отбора полыни горькой и пробы почв

№	Место сбора растений и пробы почв	Дата сбора	Координаты местности
1	Бабаджангафуровский район	23.06.2020	С 40^0 16' 16.2" В 69^0 42' 0.45"
2	Дегмай	20.06.2020	С 40^0 13' 35.1" В 69^0 38' 9.58"
3	Аштский район	25.06.2020	С 40^0 36' 30" В 70^0 13' 20"

Отбор и подготовку проб для анализа проводили в соответствии с нормативными документами [7-9]. Количественное содержание ТМ в составе растений и почв определено методом рентгенофлуоресцентного анализа согласно [3, 10-11].

В табл. 2 приведен содержание ТМ в составе ПГ и почв Бободжангафуровского и Аштского районов а также хвостохранилища Дегмай.

Таблица 2.

Содержание тяжёлых металлов в полыни горькой и пробе почвы (мг/кг)

№		Бабаджангафуровский Район		Дегмай		Ашт	
	С, мг/кг	$C_{п,}$ почва	$C_{р,}$ растений	$C_{п,}$ почва	$C_{р,}$ растений	$C_{п,}$ почва	$C_{р,}$ Растений
1,	Sr	91.34	96.68	85.41	95.45	91.06	94.87
2,	Pb	6.063	1.37	12.29	3.25	6.469	35.02
3,	As	50.24	58.9	27.65	19.35	57.59	20.11
4,	Zn	32.54	156.43	15.96	316.23	49.37	104.04
5,	Cu	55.99	46.81	58.14	47.01	55.70	47.53
6,	Ni	8.129	13.12	1.94	17.13	6.219	21.75
7,	Co	11.12	23.11	17.8	16.7	16.44	26.23
8.	Fe_2O_3,%	1.704	1.49	1.82	1.63	2.33	1.39
9.	MnO	90.96	250.06	86.8	157.43	90.21	209.68
10	Cr	64.88	89.78	64.42	92.66	64.52	80.03
11	V	16.81	29.67	19.24	20.26	16.75	9.80
12	TiO_2,%	0.336	0.334	0.326	0.333	0.346	0.327

Из табл. 2 можно видеть, что ПГ тяжёлых металлов поглощается по разному. В рассматриваемых случаях больше всего поглощаются Sr, Zn, Ni, Cr и MnO. Это свидетельствует об избирательности поглощении отдельных тяжёлых металлов данными растениями. Анализ также показывает, что мышьяк, кобальт и ванадий больше содержатся в растениях, чем в пробах почв Бабаджангафуровского района. Свинец и кобальт больше

содержатся в составе образцах растений Аштского района. Для других элементов наблюдается слабый захват.

Используя метод наименьших квадратов, можно аппроксимировать полученные данные линейной зависимостью y=ax+b и сравнивать их с экспериментальными данными.

В данном случае задача заключается в нахождении коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных, *a* и *b*

$$f(a,b) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - (ax_i + b))^2$$

принимает наименьшее значение. Таким образом, возможно, при данных *a* и *b* сумма квадратов отклоняется от экспериментальных данных, то есть найденная прямая будет наименьшей и решения сводятся к нахождению экстремума функций двух переменных.

С помощью этой функции и данных, приведённых в таблице построим точки и линию в одной диаграмме.

На рис. 1 в логарифмических координатах изображена линия, аппроксимирующая соотношение содержания (оксидов) тяжёлых металлов в почве и растениях. Веществ, расположенных выше прямой линии (Zn, MnO, Ni, Sr и Cr), больше в растениях, а элементов, расположенных ниже прямой (Pb, As и др.), больше в почве.

На рис.2. приведены коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов из почв полыни горькой для исследованных районов. По простому соотношению:

$$К_б = С_{тм}/С_п,$$

где $С_{тм}$ - концентрация ТМ в растений, $С_п$ - концентрация ТМ в почве.

При $К_б$ >1 можно судить о различной степени захвата или поглощения ТМ растениями. Как видно из рис.2, для Дегмая коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов по цинку, свинцу и никелю значительно превышают в 19.81; 5.41 и 8.9 раза соответственно, для Бабаджангафуровского района коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов по цинку и никелю значительно превышают в 4.81 и 2.11 раза соответственно; для Аштского района коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов по цинку, свинцу и никелю значительно превышает в 2.1; 5.41 и 3.5 раза соответственно. Для других ТМ этот коэффициент меньше или около единицы. При $К_б$ >5 считается, что почва значительно загрязнена. Установлено, что почва Дегмая значительно загрязнена цинком и никелем, почва Аштского района – свинцом. Отсюда следует, что для реабилитации почв ПГ можно рекомендовать с целью очистки почв от цинка, свинца и никеля.

Тревожными являются высокие значения свинца в почве Аштского района, источниками которого могут быть выбросы транспорта, промышленности и цементного производства, воды, сжигания нефти, угля, пластика, биологических материалов и биомассы.

Таким образом, установлено, что вещества, расположенные выше линии более обогащены в ПГ, а элементы, расположенные ниже прямой – в почве. Расположение точки, соответствующей исследованному веществу, на прямой и около неё означает одинаковое содержание ТМ в растениях и почве. ПГ можно рекомендовать для очистки почв от цинка, свинца и никеля.

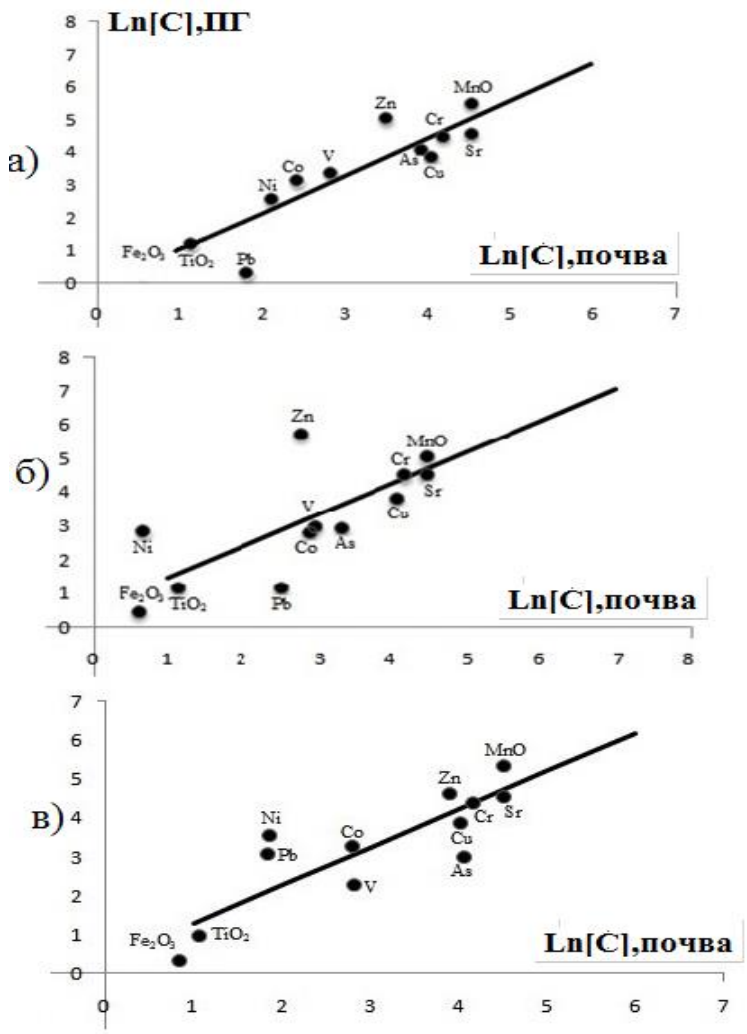


Рис. 1. Содержание элементов и их оксидов в полыни горькой и в почве
а) Бободжангафуровского района, б) хвостохранилища Дегмай,
в) Аштского района

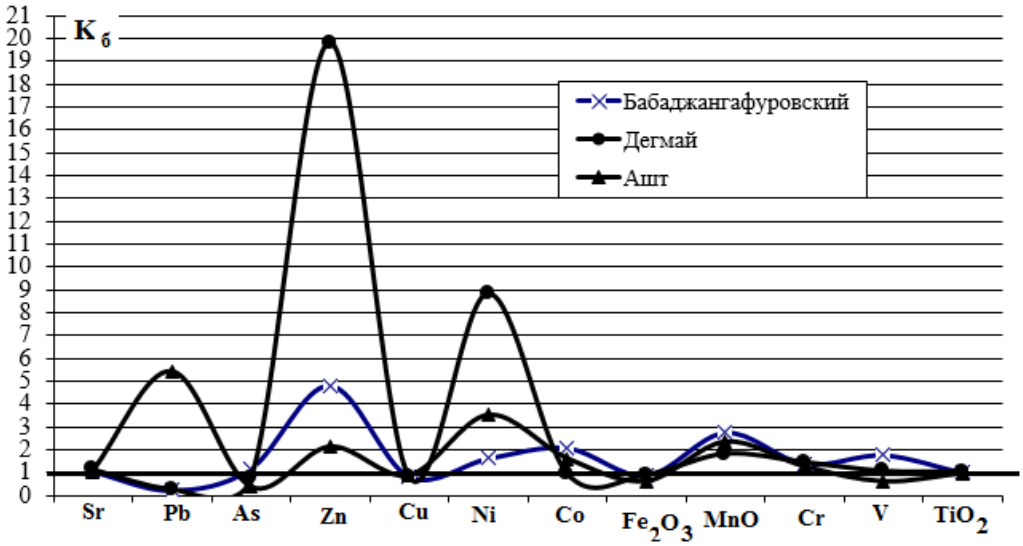


Рис.2. Коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов из почв полыни горькой для исследованных районов.

Литература
1. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжёлые металлы и растения // Петрозаводск: Институт биологии Кар НЦ РАН, 2014. 194 с.
2. Ильин В.Б., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Содержание тяжёлых металлов в почвах и растениях Новосибирска // Агрохимия, 2000. № 1. С. 66–73.
3. Абдуллаев С.Ф., Сафаралиев Н.М., Партоев К. Исследование биологического поглощения тяжёлых металлов растением-фиторемедиантом – топинамбуром (*Helianthustuberosus*L. //Химическая безопасность, 2019. Т. 3. № 1. С. 110–117.
4. Соколов Э.М., Панарин В.М., Рылеева Е.М. Антропогенное загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами // Экология и промышленность России, 2008. №11. С. 102–106.
5. Крамер Г. Математические методы статистики // М.: Мир, 1975.650 с.
6. Рао С. Р. Линейные статистики и методы их применения // М.: Наука, 1968. – 550 с.
7. Дабахов М.В. Титова В.И. Экотоксикология и проблемы нормирования // Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 165 с.
8. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2008.
9. ГОСТ Р53218-2008. Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов. М.: Стандартинформ, 2020.
10. Рахматов М.Н., Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф. Распределение тяжёлых металлов в пробах атмосферного аэрозоля Северного Таджикистана // Учёные записки ХГУ им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и эконом. науки, 2019. Т.50. №3. С.46–57.
11. Умаров Н.Н., Шукуров Т., Абдуллаев С.Ф. Влияние пестицидов на содержание тяжёлых металлов и молекулярную динамику растительных природных соединений // Экосистемы, 2020. Выпуск 24. С.152–157.

ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ОХЛАЖДЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ АЛЮМИНИЯ

[1]Низомов З., [2]Турахасанов И.Т.
[1]Физико-технический институт им. С. Умарова НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан
[2] Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
E-mail: nizomov@mail.ru

Ранее были исследованы теплофизические свойства чистых металлов [1], сплавов алюминия с кремнием, медью и легированными редкоземельными металлами сплава АК1М2 [2], сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированными РЗМ [3] и ЩЗМ [4] сплавов Zn5Al и Zn55Al, а также различные марки алюминия и технического алюминия различной степени чистоты [5]. Во всех этих работах цилиндрические образцы имели постоянного размера (d=1,6 см и h=3,0 см). К моменту постановки настоящей работы в научной литературе отсутствовала информация о влиянии размера образцов на кинетику охлаждения. Цель настоящей работы исследование влияние размера образцов на кинетику их охлаждения.

Объект исследования. Алюминия марок А0, А5, А6, А5N, AV. Образцы имели цилиндрическую форму высотой 3,368 см и диаметрами 1,5 см; 2,0 см; 2,5 см; 3,0 см; 3,5 см и 4,0 см.

Измерение температуры образца от времени охлаждения металлов производилось на установке, подробно описанной в работах [1,6]. Вся обработка результатов измерений проводилась на компьютере с помощью программы Microsoft Office Excel, а графики строились с помощью программы Sigma Plot 10. Как правило, удалось подобрать такую зависимость температуры образца от времени, что коэффициент регрессии не было ниже 0.999.

Методом охлаждения исследовано зависимость температуры образцов алюминия разных марок и диаметра от времени охлаждения в широком диапазоне температур. Экспериментально полученные временные зависимости температуры образцов с достаточно хорошей точностью описываются уравнением вида [2]:

$$\Delta T = \Delta T_1\, e^{-\tau/\tau_1} + \Delta T_2\, e^{-\tau/\tau_2} \qquad (1)$$

где ΔT_1, ΔT_2 - разность температур нагретого тела и окружающей среды в момент начала измерений, то есть при $\tau = 0$,τ_1 и τ_2 - постоянная охлаждения для первого и второго релаксационных процессов.

Дифференцируя (1) получим формулу для скорости охлаждения:

$$\frac{dT}{d\tau} = -\frac{\Delta T_1}{\tau_1}\, e^{-\tau/\tau_1} - \frac{\Delta T_2}{\tau_2}\, e^{-\tau/\tau_2}\ . \qquad (2)$$

В качестве примера на рис. 1 приведено зависимость температуры образца из алюминия марки А0 диаметром 1,5 см от времени охлаждения.

Формула (1) показывает, что теплота передается окружающему среду одновременно двумя способами и количество передаваемого тепла пропорционально площадь поверхности образца, разности температур тело и окружающей среды, и соответствующему коэффициенту теплоотдачи при любом механизме переноса теплоты (конвекцией или лучеиспусканием).

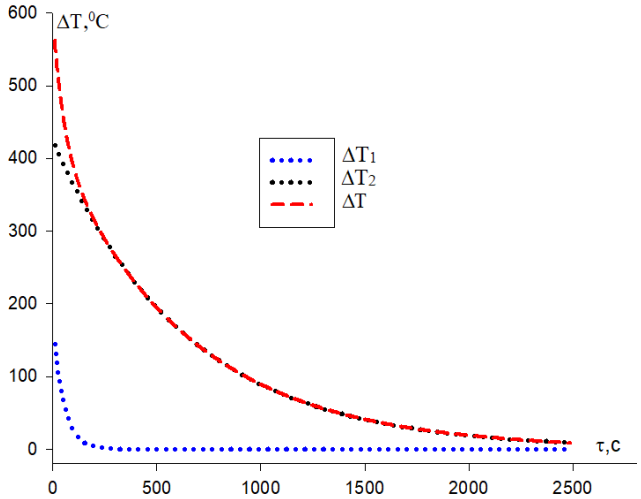


Рис.1.Зависимость температуры образца от времени охлаждения для алюминия марки A5N диаметром 2,0 см.

На рис. 1 приведена зависимость температуры образца из алюминия марки A5N диаметром 2 см от времени для процессов конвективного теплоотдачи и тепловое излучение, а также общий кривой охлаждения.

Как видно из приведенных рисунков охлаждение за счет тепловое излучение протекает быстрее, чем при конвективного теплообмена. Вклад тепловое излучение заметно только при высоких температурах.

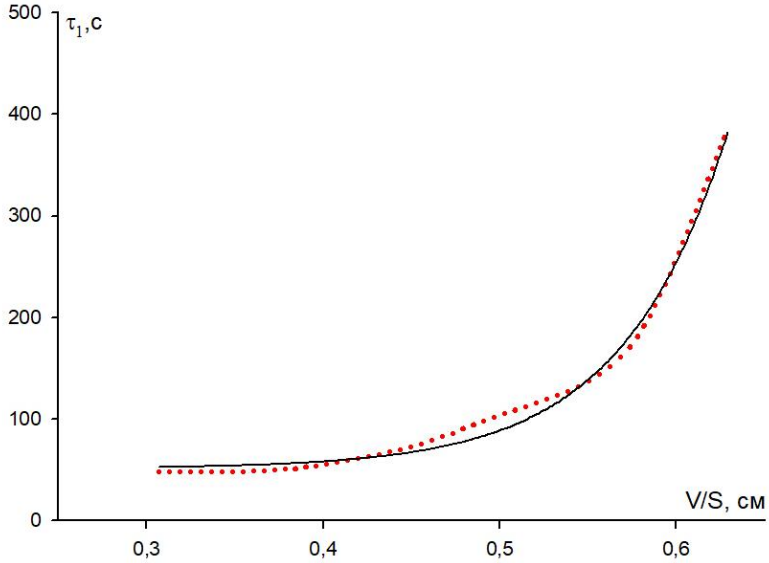


Рис. 2. Зависимость характерное время охлаждения за счет теплового излучения от V/S образца алюминия марки A5N

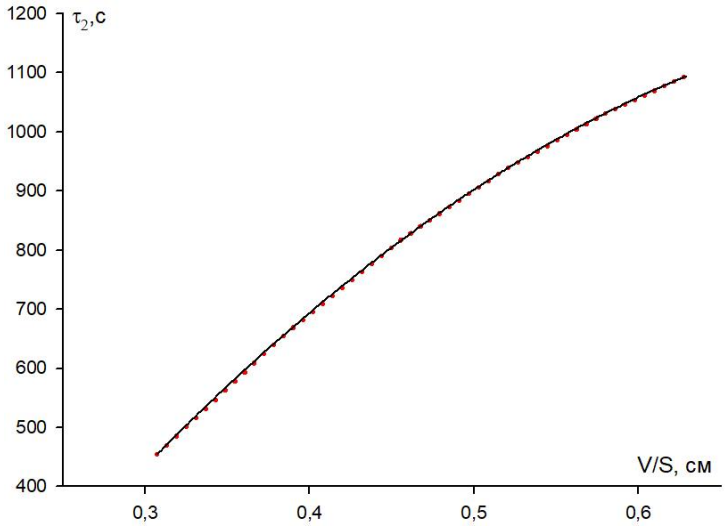


Рис. 3. Зависимость характерной времени охлаждения за счет конвективного теплообмена от V/S цилиндрической образца алюминия марки АВ98

На рис. 2 и 3 приведено зависимость характерное время охлаждения за счет теплового излучения и конвективного теплообмена от отношения объема образца к его площади поверхности V/S для алюминия марки A5N и АВ98.

Обработка крывых зависимости характерное время охдаждения за счет лучеиспускания от V/S для образцов из алюминия разной марки показало, что оно подчиняется уравнением $\tau_1 = y_0 + ae^{bx}$ (x=V/S).

Обработка полученными результатами по зависимости характерное время охдаждения за счет конвективного теплообмена от V/S для образцов из алюминия разных марок показало, что оно подчиняется кубическим уравнением типа (x=V/S, см):

$$y = y_0 + ax + bx^2 + cx^3.$$

Заключение

Исследовано влияние размера образцов различных марок алюминия (А0, А5, А6, A5N и АВ98 на их характерные времена и скорости охлаждения. Влияние теплового излучения наблюдается только при высоких температурах. Установлено, что характерные

времена охлаждение за счет лучеиспускание и конвекцией с ростом диаметра образца увеличиваются нелинейно.

Литература

1. Низомов З., Мирзоев Ф.М. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамические функции алюминия, железо, кремния, цинка, меди, магния, марганца и титана // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2019. №1. - С. 122-128.
2. Низомов З., Гулов Б.Н., Саидов Р.Х. Теплоемкость алюминия марки A5N, его сплавов с кремнием, медью и редкоземельными металлами.- Доклады АН Республики Таджикистан. 2014. Т.57. №11-12. - **С.**615-620**.**
3. Низомов З., Саидов Р.Х., Шарипов Дж.Г., Гулов Б.Н. Теплофизические свойства сплавов Zn5Al, Zn55Al, легированных редкоземельными металлами.- Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2015. Т.58.-№10. - С.916-921.
4. Авезов З.И., Саидов Р.Х., Низомов З. Теплофизические свойства сплавов Zn5Al, Zn55Al с элементами IIA группы.- Душанбе: Сино, 2020.-136 с.
5. Nizomov Z., Mirzoev F.M. Thermophysical properties of aluminum of different purity.- Scientific research of the SCO countries: synergy and integration- International Conference. Beijing, China, 2019. P.213-223.
6. Низомов З., Гулов Б.Н., Саидов Р.Х., Авезов З. Измерение удельной теплоемкости твердых тел методом охлаждения.- Вестник национального университета, 2010. Вып. 3(59). С. 136-141.

СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРОПОСФЕРНОГО ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ ТАДЖИКИСТАНА ОСЕНЬЮ 2019 И 2020 ГОДА

[1]Шодиев Ш. Ш., [2]Абдуллаев С. Ф.
[1]Худжанский государственный университет имени ак. Б. Гафурова, г. Худжанд, Таджикистан, ibragimshodiev333@gmail.com
[2]НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан, sabur.f.abdullaev@gmail.com

К основным парниковым газам в атмосфере Таджикистана относятся водяной пар, озон, оксиды азота и углерода (II и IV), серосодержащие молекулы, а также аэрозоли и пыли в свою очередь приносят определенный вклад в парниковом эффекте [1,2]. Мониторинг парниковых газов, нами проводится по атмосферам шести разных климатических зонах Таджикистана, включая атмосферы пустыни Айвадж, густонаселенного Душанбе, ледников Бобоиоб, Зарафшон, Медвежий и Грумм-Гржимайло. При мониторинге использованы ежечасно обновляемыми ресурсами сайта windy.com.

Сравнение полученных значений концентраций парниковых газов приводим для тропосферного озона, вклад которого намного значительно на парниковый эффект. Таблица 1 отражает статистический анализ содержания тропосферного озона по 6 зонам Таджикистана.

Все значения концентрации тропосферного озона в этой таблице, включая среднего (<C>), максимального (C-max), минимального (C-min), предельно-допустимого (C-pdk) и т.п. даны в ppm, равной числу молекул вещества в миллионе отобранных молекул. Например, среднее значение концентрации тропосферного озона в Айвадже (в 1 таблице, 2

стр., 2 ст.) равно $29{,}6\ ppm \approx 30\ ppm$. Это означает, что из отобранных миллиона молекул воздуха, примерно 30 молекул озона [1].

Таблица 1

Статистический анализ содержания тропосферного озона в атмосфере Таджикистана из мониторинга, проведенного осенью 2019 г.

	Айвадж	Душанбе	Бобооб	Зарафшон	Медвежый	Грумм-Гржимайло
<C>	29,6	19,4	27,0	43,3	54,1	53,9
C-max	41,7	37,3	38,8	52,1	58,6	59,0
C-min	20,8	4,9	13,0	30,4	47,4	48,0
C-pdk	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
n	71	71	71	71	71	71
σ	4,9	7,1	5,4	5,1	2,6	2,6
tc	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
δ	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
S	0,003	0,004	0,003	0,003	0,001	0,001
V	0,166	0,365	0,199	0,118	0,047	0,048
<C>+δ	29,77	19,66	27,20	43,46	54,16	54,01
<C>-δ	29,37	19,08	26,76	43,05	53,95	53,80
S2	0,007	0,015	0,008	0,005	0,002	0,002

Как видим из значений среднеарифметического отклонения для разных местностей, это значение уменьшается по мере смещения в сторону ледников, т.е. в сторону местностей с большей высотой нахождения над уровнем моря из меньшей. Это говорит нам о том, что как выше находится зона над уровнем моря, тем слабее изменение содержания тропосферного озона в атмосфере в этой местности. Вышеуказанным следствиям не подчиняется лишь значение среднеквадратичного отклонения величины концентрации озона в атмосфере города Душанбе.

Таблица 2

Статистический анализ содержания тропосферного озона в атмосфере Таджикистана из мониторинга, проведенного осенью 2020 г.

	Айвадж	Душанбе	Бобоиоб	Зарафшон	Медвежий	Грумм-Гржимайло
<C>	88,75	75,73	74,13	76,35	73,87	74,34
C-max	129,75	105,96	111,11	101,79	97,18	97,4
C-min	40,57	44,72	34,93	55,29	54,47	55,44
C-pdk	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
n	56	56	56	56	56	56
σ	16,29	12,54	18,21	9,65	9,24	9,81
tc	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
δ	0,89	0,69	1,00	0,53	0,51	0,54
S	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
V	0,18	0,17	0,25	0,13	0,13	0,13
<C>+δ	89,65	76,41	75,13	76,88	74,38	74,88
<C>-δ	87,86	75,04	73,13	75,82	73,36	73,80
S2	0,010	0,009	0,013	0,007	0,007	0,007

Из полученных значений и сделанных обработок содержания тропосферного озона в атмосфере Таджикистана, видно, что средние значения концентраций молекул этого газа в этом сезоне 2020 года намного больше средних значений концентраций этого же сезона 2019 года. А среднеквадратичные отклонения тоже велики и изменяются по тем же следствиям, которые нами были сделаны в примере 2019 года.

А для наглядного представления отклонения значений содержания тропосферного озона в одном и том же сезоне 2019 и 2020 года приводим следующую диаграмму (см. рис.1).

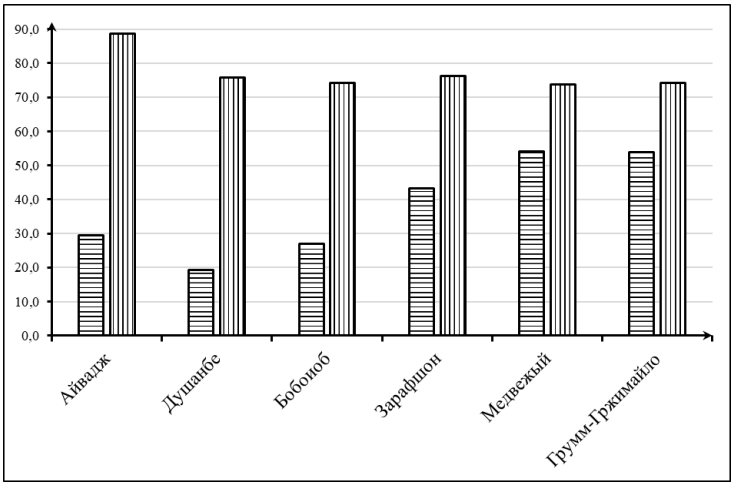


Рисунок 1. Сравнение средних значений концентрации молекул тропосферного озона в атмосфере Таджикистана осенью 2019 (горизонтальные линии) и 2020 гг. (вертикальные линии).

На рисунке 1 единицей измерения оси ординат является *ppm.*

Из этого графика видно, что большие и значимые отклонения между средними значениями концентрации тропосферного озона в двух этих периодах, наблюдается у атмосферы пустыни Айвадж, самой высокотемпературной точке страны, и города Душанбе, густонаселенному пункту [1].

Список литературы

1. Шодиев Ш. Ш., Абдуллаев С. Ф., Маслов В. А. Мониторинг парниковых газов в атмосфере Таджикистана за месяц//Республиканская конференция ТТУ им. ак. М. Осими. Душанбе: 2019.
2. Тверской П.Н. Курс метеорологии (Физика атмосферы). Ленинград: Гидрометеоиздат,1962. – 700 С.

МОНИТОРИНГ ОБЛАЧНОСТИ МЕСТНОСТИ ПО ДАННЫМ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Салиев М.А.
ЦИРННТ НАНТ, Худжанд, Таджикистан
malik.saliev@gmail.com

Оптическая прозрачность атмосферы и облачность местности в условиях севера Республики Таджикистан по данным выработки электроэнергии солнечной фотоэлектрической установкой (СФЭУ) ранее исследованы в работах [1,2]. В данной работе проведено сравнение результатов экспериментальных исследований указанных работ, на

основе анализа базы данных непрерывного мониторинга выходного тока и напряжения СФЭУ, полученных в течении 2016г. и 2019г. Информационная система на основе микрокомпьютера обеспечивает запись и хранение данных на флэш-карте объемом 1 ГБ. Компьютерная программа обработки базы данных позволяет получить аналитическую информацию в заданном интервале времени минут, часов, суток, месяца, года.

Электрическая мощность на выходе СФЭУ P_i определяется по формуле:

$$P_i = I_i U_i \qquad (1),$$

где I_i - ток, U_i - напряжение на выходе СФЭУ для i – го интервала времени.

Выработка электроэнергии в заданном интервале i определяется как:

$$W_{iэ} = P_i \Delta t_i \qquad (2),$$

где Δt_i = 5 мин = const является интервалом измерений.

Суточная выработка электроэнергии $W_{сэ}$ определяется суммой выработки $W_{iэ}$ в интервале от 1 до N:

$$W_{сэ} = \sum_{i=1}^{N} W_{iэ} \quad (3)$$

Средний месячный КПД фотоэлектрического модуля (ФЭМ) определяется:

$$\eta_м = W_м / E_м \qquad (4)$$

где

$$W_м = \sum_{i=1}^{M} Wcэ \qquad (5)$$

$W_м$ – месячная выработка электроэнергии и M – число дней в месяце,

$E_м$ – месячная сумма солнечного излучения на площади приемника.

Результаты измерений тока и напряжения на выходе СФЭУ с интервалом 5 минут хранятся в формате Excel и обрабатываются с помощью компьютера.

Условный месячный показатель прозрачности атмосферы $T_м$ и коэффициент облачности $k_{обл}$ определяются по следующим формулам [2]:

$$T_м = \langle W_c \rangle / W_{cmax} \qquad (6)$$

$$k_{обл} = 1 - \langle W_c \rangle / W_{cmax} \qquad (7)$$

где $\langle W_c \rangle$ и W_{cmax}, соответственно среднесуточная и максимальная суточная выработка электроэнергии СФЭУ на середину месяца (15 или 16 число).

Величины $T_м$ и $k_{обл}$ получены для видимой части солнечного излучения в пределах диапазона спектральной чувствительности фотоэлектрических модулей из поликристаллического кремния (multi-cSi).

Результаты расчета месячных показателей $T_м$ и $k_{обл}$, а также среднегодовых значений $\langle T_м \rangle$ и $\langle k_{обл} \rangle$ на основе данных выработки СФЭУ с площадью приемника 1,8 м^2 представлены на Рис. 1 для 2016г. и Рис.2 для 2019 г.

Месячные показатели прозрачности атмосферы $T_м$ в начале и в конце года меньше среднегодовых значений $\langle T_м \rangle$. Среднегодовой показатель $\langle T_м \rangle$ составляет 0,74 для 2016г. Этот показатель $\langle T_м \rangle$ составляет 0,65 для 2019г.

Месячный коэффициент облачности $k_{обл}$ минимален в летний период (уменьшается до значений 0,1), а в зимние месяцы максимален (более 0,6).

Среднегодовой коэффициент облачности $\langle k_{обл} \rangle$ составляет 0,26 и 0,35, соответственно для 2016г. и 2019г. Величина $\langle k_{обл} \rangle$ значительно меньше (на одну четверть) в 2016г., из-за низкой облачности в начале года и позднего начала зимнего периода облачности, когда выполняется условие $k_{обл} > T_м$.

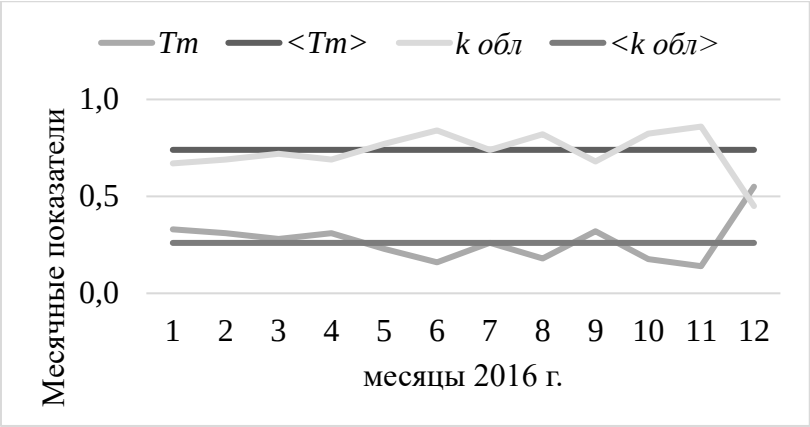


Рис.1. Месячные и среднегодовые показатели $T_м$, $k_{обл}$, $<T_м>$, $<k_{обл}>$ (2016 г.)

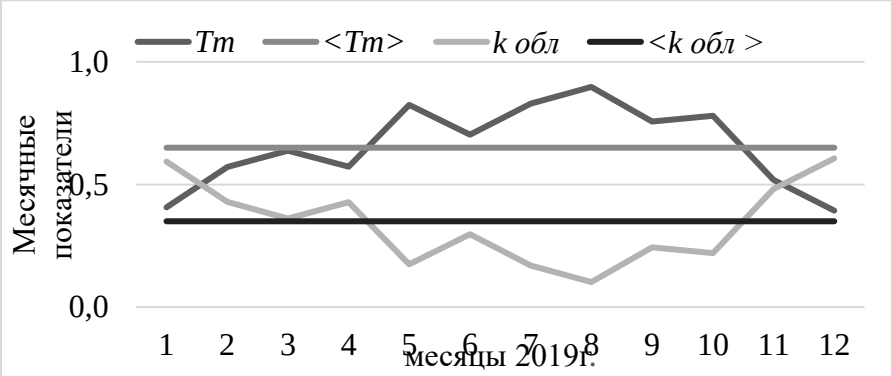


Рис. 2. Месячные и среднегодовые показатели $T_м$, $k_{обл}$, $<T_м>$, $<k_{обл}>$ (2019г.)

Обнаружено, что в начале 2016 года кривые $T_м$ и $k_{обл}$ вообще не пересекаются и на рисунке 1 имеется одна точка пересечения этих кривых. Пересечение кривых $T_м$ и $k_{обл}$ на рисунке 2 происходит в двух точках в конце зимы (январь - февраль 2019г.) и в конце осени (ноябрь – декабрь 2019г.).

Таким образом, изменение оптических характеристик атмосферы и связанные с ними изменения климатических условий местности могут быть количественно оценены по данным выработки электроэнергии солнечных установок, путем исследования выработки электроэнергии СФЭУ на основе данных непрерывного мониторинга выходного тока и напряжения установки.

Получены оценки оптических характеристик атмосферы: показателя прозрачности $T_м$ и коэффициента облачности местности $k_{обл}$ для месячного и годового интервала времени. Показано, что предложенная цифровая технология обработки данных позволяет получить количественную оценку влияния облачности на выработку электроэнергии солнечных установок.

Проведено сравнение прозрачности атмосферы и коэффициента облачности за 2016 и 2019 годы. Показано, что количественные оценки указанных оптических характеристик в заданных месячных интервалах времени описывают особенности сезонных переходов в теплый и холодный период для 2016 г. и 2019 г.

Для более детального исследования оптических характеристик атмосферы, динамики процесса образования облачности и её влияния на выработку электроэнергии нами разработана цифровая технология исследования данных выработки электроэнергии, которая позволяет получить мгновенные значения прозрачности атмосферы для данного угла установки. Определены условный суточный, пятидневный, недельный, декадный, месячный и годовой коэффициент облачности местности для угла установки 40° относительно горизонта (азимут юг) за период 2019г., 2020г., 2021г.г.

Список литературы

1. Салиев М.А., Юмаев Н., Джураев Э., Ахмедов Х.М. Оценка влияния климатических условий на эффективность работы солнечной фотоэлектрической установки // ДАН РТ, 2019, т.61, №1-2, с.78-83.
2. Салиев М.А., Мирзокобилова Ф., Юсупова М.З., Ахмедов Х.М. Использование цифровой технологии контроля для оценки влияния климатических факторов на работу солнечной фотоэлектрической установки // Изв. АН РТ, Отд.физ.-мат., хим., геол. и тех. наук, 2020, №4(181), с.148-155.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СОСТАВЕ ПОЧВ ГОРОДА ДУШАНБЕ

Халифаева Ш. Х., Абдуллаев С. Ф., Рахматов М. Н.

ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет имени Абуали ибни Сино. Душанбе, Таджикистан

Физико-технический институт имени С. У. Умарова национальной академии наук Республики Таджикистан. Душанбе, Таджикистан

Худжандский государственный университет имени академика Бабаджана Гафурова, Худжанд, Таджикистан

shohina93@inbox.ru

Поступление и наличие тяжелых металлов в почвах является одним из распространенных видов антропогенного загрязнения. Тяжелыми металлами считаются ряд химических элементов атомная масса которых превышает 50 (свинец, олово, кадмий, медь, кобальт, марганец, цинк, хром, никель и др.), но точных известных перечень тяжелых металлов нет. Обычно точное количество тяжелых металлов не уточняется, в разных литературах приводятся разные цифры или пишут «более 40 или 50 химических элементов». В химии почв тяжелые металлы выделяются, как особая группа из-за своего токсического действия, оказываемого на живые микроорганизмы при высокой их концентрации. К группе тяжелых металлов присоединяются и тяжелые металлоиды (полуметаллы) и в этом случае в группу природных тяжелых металлов и металлоидов войдут все элементы, начиная с ванадия до урана, исключая галогенов и благородных газов, и также металлов, которые не содержат стабильных изотопов. Наличие некоторых тяжелых металлов при низкой концентрации являются микроэлементами в почвах и оказывают благотворное действие на растения, повышая их урожайность (Mn, Mo, Co, Zn, Cu). Поступление тяжелых металлов в организм чаще всего происходит по системе: почва - растение - животное – человек и данная проблема актуальна [3]. Распределение ТМ по поверхности почвы определяется многими факторами. Оно зависит от источников

загрязнения, метеорологических особенностей региона, геохимических факторов и др. [4]. Основная концентрация токсических элементов, которые загрязняют почву, обнаружено в верхних слоях почвы (0-10 см) [5]. Установлено, что 57-74% ртути и свинца при антропогенном загрязнении закрепляются в слое 0-10 см и только 3-8% мигрируют до глубины 30-40 см. Тяжелые металлы - токсиканты, поступая через почвы в растения, передаваясь по пищевой цепы, оказывают токсическое действие на растения и человека. Если количество токсикантов в пищевых продуктах, в 2-3 раза превышают фоновых, их использование нежелательно, а превышающих ПДК-недопустимо.

Промышленные предприятия являются главными источниками антропогенного поступления тяжелых металлов в природную среду: тепловые электростанции, металлургические заводы, карьеры и шахты по добыче полиметаллических руд и транспорт. Большинство количеств промышленных предприятий не обеспечены надежными средствами очистки газовых выбросов, что приводит к сильному загрязнению атмосферы вокруг этих предприятий. Загрязненная атмосфера в этом случае является главным источником накопления тяжелых металлов в почве и растениях [5].

В данной работе исследовано содержание тяжелых металлов в составе почв города Душанбе. Душанбе является столицей страны, поэтому здесь количество транспортов и автомобилей увеличивается день ото дня, выброс отходов от сжигания топлива транспортом увеличивает содержание тяжелых металлов в почве. Пылевые бури, которые за последные 10-15 лет стали частыми на территории южной и центральной частей Таджикистана, когда осаждаются на поверхность почвы также часто переносят значительное количество тяжелых металлов.

В ходе исследований на территории города Душанбе было собрано 36 проб почвы. Пробы отбирались из верхних слоев почвы толщиной 1,5-2 см. Элементный состав проб определялся в лабораторных условиях методом рентгенофлуоресцентного анализа с помощью прибора СПЕКТРОСКАН МАКС G. После определения элементного состава рассматривались статистические характеристики содержания тяжелых металлов и их содержания в составе почвы.

В табл.1 и табл.2 представлены статистические данные по содержанию тяжелых металлов в пробах почв города Душанбе. Как видно из таблиц максимальное содержания особо опасных тяжелых металлов наблюдались на территории аграрного университета (мышьяк и свинец) и парка Куруши Кабир (цинк). Самые высокие концентрации тяжелых металлов обнаружены на территории аграрного института и аэропорта, а минимальные концентрации наблюдались на территории торгового центра «Садбарг».

Таблица 1.

Статистические характеристики содержания тяжелых металлов первого и второго класса опасности в пробах атмосферного аэрозоля

Параметр	Элементы 1-го класса опасности			Элементы 2-го класса опасности			
	Zn(ppm)	As(ppm)	Pb(ppm)	Cr(ppm)	Ni(ppm)	Co(ppm)	Cu(ppm)
<C>	113,95	52,88	38,67	86,25	20,42	9,67	49,65
C_{max}	264,86	104	103,96	153,85	68,09	20,35	57,59
C_{min}	37,87	26,34	1,76	64,03	6,95	0,65	38,65
σ	2,18	1,48	1,27	1,90	0,92	0,63	1,44
V	0,02	0,03	0,03	0,02	0,05	0,07	0,03

Sn	0,09	0,06	0,05	0,08	0,04	0,03	0,06
t_c	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
I	1,00	0,42	3,87	-0,16	0,97	3,31	-0,22
$<C>/К^{почв}$	1,14	8,81	3,87	0,58	0,51	1,21	2,48
$<C>/К^{зк}$	1,27	29,38	2,42	1,04	0,35	0,54	1,06
ПДК	100,00	2,00	32,00	100,00	100,00	25,00	55,00
C_{max}/C_{min}	6,99	8,86	116,84	2,40	9,80	31,39	1,49
$<C>/C_{min}$	3,01	2,01	21,97	1,35	2,94	14,92	1,28
Δ	1,60	1,09	0,93	1,40	0,68	0,47	1,06
<C>/ПДК	0,91	116,69	2,99	1,44	0,15	0,48	0,78
Кларк*	50/83	6/1.8	10/16	150/83	40/58	8/18	20/47
C_{max}	164,86 Парк Куруши Кабир	104 Северная часть (Аграрный универ.)	103,96 Северная часть (Аграрный универ.)	153,85 Аэропорт	68,09 Северная часть (Аграрный универ.)	20,35 Текстиль	57,59 Текстиль
C_{min}	37,87 Ворота Гиссар	31,34 Цем.завод	1,76 Торг.центр Садбарг	64,03 Цем.завод	6,95 Текстиль	0,65 Садбарг	38,65 Аэропорт

Примечание: *<C> – среднее содержание элементов в пробе атмосферного аэрозоля ppm (мг/кг), C_{max}– максимальное содержание элементов в пробе (ppm), C_{min} – минимальное содержание элементов в пробе, ppm; σ – среднеквадратичное отклонение; S_n–погрешность; I – интегральный индекс загрязнения; C_{max}/C_{min} – отношение максимальной концентрации к фоновой (в качество фонового значения принято минимальное содержание элементов), t_c - –критерий Стьюдента, δ -доверительный интервал, V- коэффициент вариации.*

Таблица 2.

Статистические характеристики содержания тяжелых металлов четвертого класса опасности в пробах атмосферного аэрозоля

Параметр	Элементы 4-го класса опасности				
	V(ppm)	MnO(ppm)	TiO_2(%)	Sr(ppm)	Fe_2O_3(%)
<C>	42,67	643,55	0,37	100,46	3,47
C_{max}	250,77	4552,55	0,8	109,8	3,97
C_{min}	7,33	88,68	0,335	86,2	1,83
σ	1,33	5,18	0,12	2,05	0,38
V	0,03	0,01	0,34	0,02	0,11
Sn	0,05	0,21	0,00	0,08	0,02
t_c	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
I	1,96	2,27	0,13	-0,36	0,33
$<C>/К^{почв}$	0,43	0,76	0,81	0,33	0,91
$<C>/К^{зк}$	0,47	0,64	0,66	0,30	0,85
ПДК	100,00	1500,00	0,50	-	-
C_{max}/C_{min}	34,20	51,34	3,54	1,27	6,23
$<C>/C_{min}$	5,82	7,26	1,65	1,17	1,89
Δ	0,98	3,81	0,09	1,51	0,28
<C>/ПДК	1,10	0,37	0,45	-	-
Кларк*	100/90	850/1000	0,46/0,56	300/340	3,8/4,1

C_{max}	250,77 Аэропорт	455 Масложиркомб.	0,8 Аэропорт	109,8 Северная часть (Цем. завод)	3,97 Аэропорт
C_{min}	7,33 Парк Куруши Кабир	88,68 Колхоз Россия	0.335 ТЭЦ мясокомбинат	86,2 Текстиль	1,86 Текстиль

Особо опасными тяжелыми металлами являются мышьяк, свинец и цинк. Содержание As во всех пробах превышает ПДК для этого химического элемента. Источниками мышьяка являются преимущественно выбросы, связанные с сжиганием угля и нефтепродуктов [3]. Содержание цинка превышает ПДК в трёх точках: рынок Саховат, аэропорт и парк Куруши Кабир. Источником цинка обычно являются выбросы, связанные с сжиганием угля, нефтепродуктов, промышленность и выбросы транспорта [2]. Максимальное содержание цинка, превышающее ПДК (100 мг/кг), обнаружено около парка Куруши Кабир (165 мг/кг), у рынка Саховат (150 мг/кг) и на территории аэропорта (168 мг/кг). Высокое содержание свинца обнаружено на территории аграрного университета (104 мг/кг) и аэропорта (76 мг/кг), ПДК (32 мг/кг) превышается почти в 3 раза, в других пробах содержание свинца оказалось меньше ПДК. Максимальное содержание мышьяка (104 мг/кг) обнаружено на территории аграрного университета, ПДК (2 мг/кг) для этого элемента превышено в 50 раз. Надо отметить, что концентрация мышьяка в почве превышает ПДК во всех пробах. Источником свинца являются выбросы от сжигания угля и биологических материалов, нефтепродуктов, промышленность и выбросы транспорта [3].

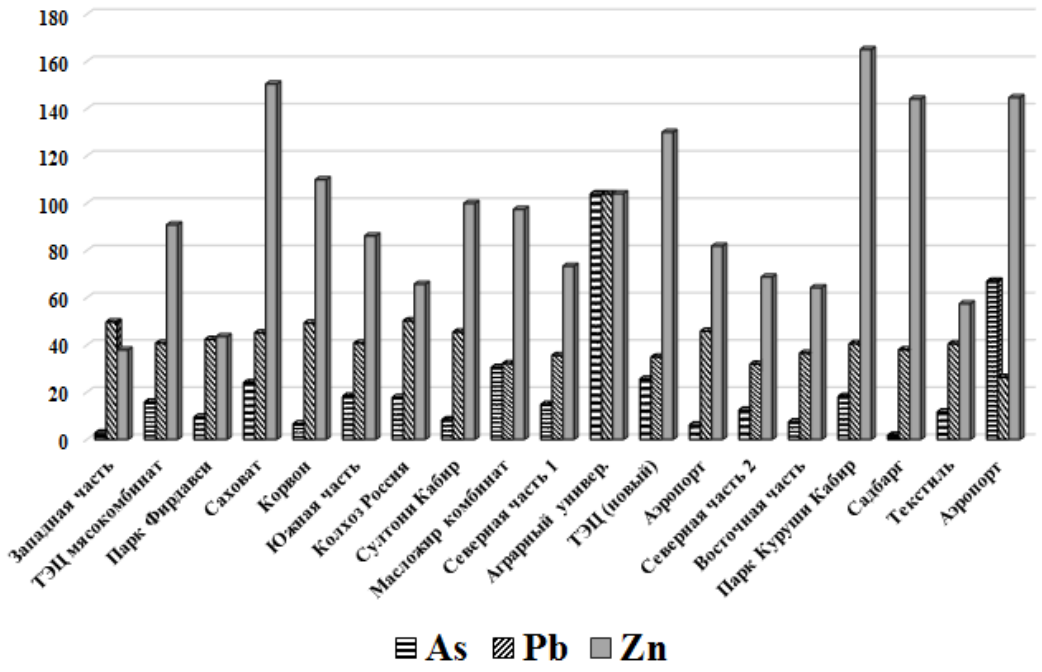


Рис. 1. Содержание особо опасных тяжелых металлов (свинец, мышьяк, цинк) в составе почв города Душанбе.

Литература
1. Соколова О.Я., Стряпков Х.Л., Антимонов С. В., Соловых С. Ю.Тяжелые металлы в системе элемент - почва - зерновые культуры. Вестник ОГУ. - №4. – 2006. - стр.106-110.
2. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почв. ин-ттав им. В.В. Докучаева. - 2008. - 164 с.
3. Большаков В.А., Водяницкий Ю.Н., Борисочкина Т.И., Кахнович З.Н., Мясников В.В. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. - 1999. - 31 с.
4. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах. Системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Иза-во Книжный дом «ЛИБРИКОМ». - 2013. - 168 с.
5. Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. - 2005. - 109 с.

О СВЯЗИ ТАЯНИЯ ЛЕДНИКА МЕДВЕЖИЙ С ПЫЛЕВЫМИ ВТОРЖЕНИЯМИ

Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А.
Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана
sabur.f.abdullaev@gmail.com

Рассмотрены атмосферные факторы, влияющие на ускоренное таяние ледников Таджикистана, наблюдающееся уже несколько лет. На примере пульсирующего ледника Медвежий проведен анализ траекторий воздушных масс. Установлено, что при пылевых вторжениях в центральной части Таджикистана, пыль далее переносится воздушными потоками в сторону ледников, являющихся источниками воды для горных рек. Осаждение пыли на поверхности льда уменьшает альбедо поверхности, усиливая поглощение света, и приводит к ускорению таяния ледников.
Ключевые слова: ледники, обратные траектории, аэрозоль, перенос пыли.

Водные ресурсы Таджикистана и всей Центральной Азии в целом существенно зависят от таяния ледников, так как трансрегиональные реки Амударья и Сырдарья питаются талой водой этих ледников [1-2]. Изменение скорости таяния ледников может быть связано с глобальными изменениями климата за последние 40 лет, с увеличением концентрации парниковых газов. Одной из возможных причин непредсказуемого изменения стока горных рек, происходящего из-за ускоренного таяния ледников, является воздействие пылевых частиц, осаждающихся на поверхность ледника после пылевых вторжений на территории Таджикистана.

Таджикистан расположен в регионе, где концентрация пылевых частиц в воздухе может изменяться при пылевых вторжениях в тысячи раз [1-4]. Пылевые вторжения (ПВ), начинающиеся в пустынях пылевого пояса, проникают на территорию Таджикистана через южные и западные границы. ПВ различной интенсивности каждый год с апреля по ноябрь ухудшают экологическое состояние региона. Запыленность атмосферы существенно влияет на устойчивость климата и на все природные процессы, связанные с изменением прозрачности атмосферы и изменением отражательной способности поверхности Земли. В летнее время влияние осаждения пыли на альбедо поверхности почвы, включая

поверхность ледников, где летом лед покрыт толстым слоем грунта, образовавшегося из-за многолетних отложений пыли, невелико, но в зимнее время отражательная способность заснеженной поверхности ледника заметно уменьшается от осевшей пыли.

От чистой поверхности ледника (альбедо 0.9) почти всё солнечное излучение отражается в атмосферу. При осаждении частиц на поверхность льда, альбедо поверхности уменьшается с 0.9 до 0.4-0.5, нагрев поверхности ледника из-за поглощения солнечного излучения пылевыми частицами усиливается, лед тает. Солнечная радиации, отраженная в атмосферу, поглощается парниковыми газами в окнах прозрачности атмосферы и нагревает воздух над ледником. Увеличение полного количества тепла, поглощенного поверхностью ледника ускоряет его таяние, а также увеличивает пластичность льда и скорость его перетекания.

Целью данной статьи является оценка значимости степени запыленности атмосферы в Таджикистане, т.е. числа, мощности и продолжительности пылевых эпизодов, на изменение скорости таяния ледников на примере ледника Медвежий.

Долинный ледник Медвежий (38˚39'00" с.ш.;72˚11'00" в.д.), являющийся одним из тридцати пяти пульсирующих (т.е. способных иногда резко увеличивать скорость движения) ледников Таджикистана, расположен на высоте более 4500 метров над ур. м., язык его располагается на высоте 3000 метров. Длина ледника 15,8 км, площадь 25,3 км^2. Пульсации ледника происходили в 1963, 1973, 1989 и 2001 годах. При этом скорость движения ледника увеличивалась от 0.1-0.15 м/сутки до 50 м/сутки [6]. В 1963 году Медвежий увеличил свою длину на 1.7 км, площадь на 1,1 км^2.

При изучении воздействия пыли на таяние ледников использованы данные о состоянии атмосферы и метеорологические параметры. Поскольку регулярные атмосферные наблюдения в окрестностях ледника Медвежий не проводятся, то мы будем применять данные, полученные в г. Душанбе. Есть основания считать, что закономерности метеорологических явлений в атмосфере Таджикистана, включая перенос пыли, связаны с глобальными геофизическими процессами и имеют подобный характер. На это указывает сопоставление динамики температуры воздуха в г. Душанбе и над ледником Медвежий, полученной по спутниковым данным [7], построенной для осени 2019 года (рис.1а). Очевидно, что эти две зависимости отличаются, в основном, уровнем температуры, что связано с различной высотой местности.

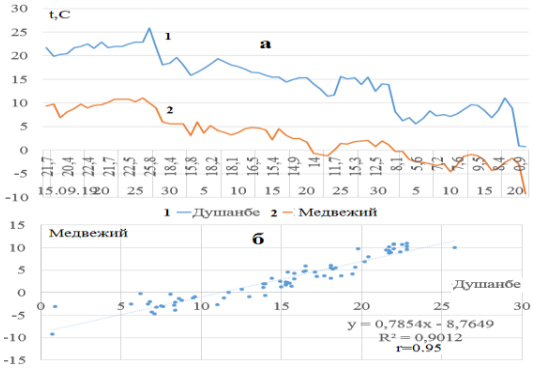


Рис.1. Вариации температуры воздуха в г. Душанбе и над ледником Медвежий (а); корреляция температуры воздуха (осень, 2019 г.).

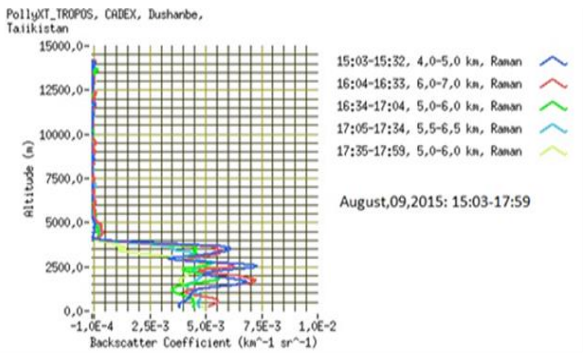


Рис. 2. Вертикальный профиль коэффициента обратного рассеяния, построенный в рамках проекта CADEX с помощью лидарного комплекса PollyXT TROPOS в период пылевой мглы 9 августа 2015 года.

Коэффициент корреляции этих величин составляет 0.9 (рис.1б).

Чтобы проследить движение пыли в атмосфере, надо представлять её структуру и направления распространения. В основном, перенос пыли в атмосфере происходит на высоте ниже 3500 м от поверхности Земли. Выше этого уровня в атмосфере находится инверсионный температурный слой, препятствующий подъему пыли.

Типичный для пылевых эпизодов вертикальный профиль коэффициента обратного рассеяния в Душанбе определен с помощью лидарного комплекса PollyXT - TROPOS [5] в период пылевой мглы 9 августа 2015 года в рамках проекта CADEX (рис.2). Этот профиль распределения коэффициента обратного рассеяния по высоте указывает на неравномерное распределение частиц аэрозоля по высоте с максимумами на высотах 500, 1500, 2500 и 3500 м над станцией.

Чтобы проследить влияние пыли на таяние ледников, рассмотрим распространение пылевого аэрозоля во время мощных пылевых вторжений в юго-центральном Таджикистане. Обратные траектории движения воздушных масс, вычисленные по метеорологическим параметрам атмосферы на сайте HYSPLIT, позволяют проследить, откуда могла быть перенесена пыль. Для возможных источников запыленных воздушных масс на высоте 2500 м от уровня земли, проходящих через ледник Медвежий, построены вероятностные ансамбли из 27 обратных траекторий воздушных масс, пришедших на 01.06.2001 (а) и 27 прямых траекторий, вышедших в этот день с ледника Медвежий (б) за период 7 суток (Рис.3).

Это был один из дней с высокой запыленностью воздуха летом 2001 г., перед пульсацией ледника Медвежий. Запыленный воздух, пройдя над пустынями пылевого пояса, над Гиссарской долиной, а затем и над ледником Медвежий, ушел затем в северо-западном направлении.

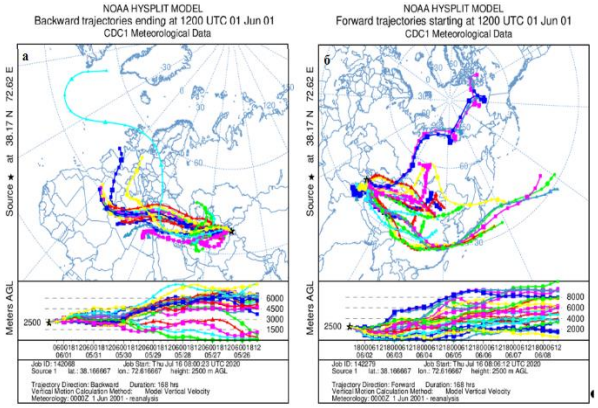


Рис.3. Вероятностные ансамбли из 27 обратных траекторий воздушных масс, пришедших на ледник Медвежий 01.06.2001 (а) и 27 прямых траекторий, вышедших в этот день с ледника Медвежий (б) за период 7 суток

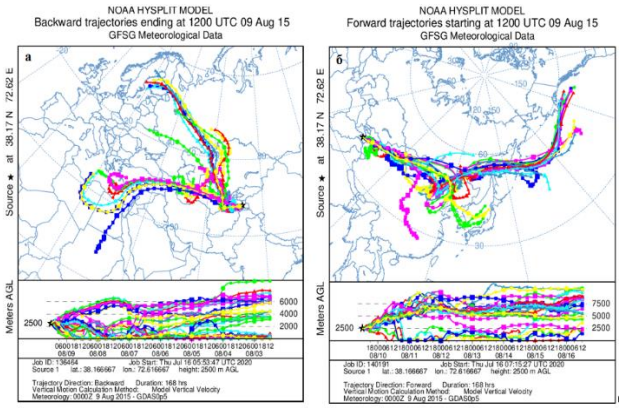


Рис.4. Вероятностные ансамбли за период 7 суток из 27 обратных траекторий воздушных масс, пришедших на ледник Медвежий 09.08.2015 (а) и 27 прямых траекторий, вышедших в этот день с ледника Медвежий (б).

Можно убедиться, что направления вероятностных ансамблей траекторий близки к тем (рис.4), что построены для эпизода мощного пылевого вторжения (09.08.2015), особенности высотного распределения пыли в котором описаны выше (рис.2). Воздушные

массы, прошедшие над пустынями Туркмении, принесли в Душанбе пыль, наблюдавшуюся в городе как пылевая мгла. Затем они распространяются дальше на восток, захватывая и территорию ледника Медвежий. Такое направление движения пылевых потоков в атмосфере характерно не только для Душанбе, но и практически для любой точки Гиссарской долины.

Пульсация ледника Медвежий в 1989 году (он удлинился на 1,2 км, его площадь увеличилась на 0,8 км^2 [6]) произошла, возможно, из-за влияния высокого аэрозольного загрязнения центральной части страны в течение 1988-1989 годов. В этот период было отмечено максимальное падение горизонтальной дальности видимости (рис.5), связанное с пылевыми вторжениями.

Свойства пылевого аэрозоля, видимо, близки к свойствам пыли, изучавшейся во время наиболее мощных за последние десятилетия пылевых эпизодов, произошедших 20.09.1989 и 20.10.1989 в юго-центральной части страны. Они продолжались от 3 до 5 часов, характерная скорость осаждения частиц для пылевого аэрозоля составила 100-120 мм/год, средний суммарный осадок при пылевых эпизодах 16.10.1989 (за 20 часов) и 20.10.1989 (за 13 часов) составил 0.38 мг/м^3 и 4.8 мг/м^3, соответственно. Почти 99% частиц имели размеры до 0.6 мкм [8]. После 90-х годов из-за процессов, связанных с изменением климата, наблюдаются пылевые вторжения малой интенсивности и высокой продолжительности.

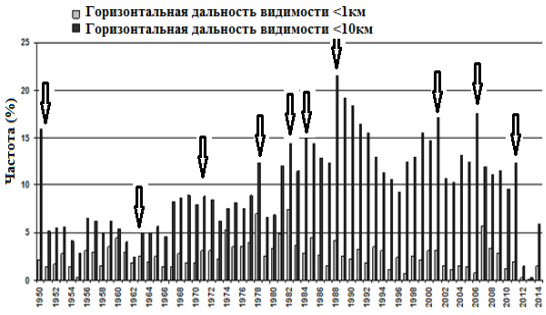


Рис.5. Частота повторяемости горизонтальной дальности видимости в 1950-2014гг.

Рис.6. Вариация среднегодовой температуры воздуха в 1948-2018 гг.

На рис.2 и рис.3 можно видеть взаимосвязь пульсаций ледника Медвежий (стрелки) с частотой повторяемости пылевых вторжений и с температурой воздуха в Душанбе. В большинстве случаев пульсации происходили в тот же или следующий год, когда наблюдалось больше всего дней с наименьшей дальностью видимости. Еще более впечатляюще выглядит совпадение пульсаций с локальными максимумами среднегодовой температуры воздуха. Отклонение от тренда среднегодовой температуры (рис.6) также сохраняет такую тенденцию. Исключение составляет 1963 год, когда пульсация произошла при минимальной среднегодовой температуре. Скорее всего, одни и те же факторы вызывают и повышение температуры, и увеличение запыленности воздуха.

Пульсация ледника Медвежий в 2001 г. [6] коррелирует с ростом числа и продолжительности пылевых вторжений (рис.5 и рис.7). Частота, количество и продолжительность пылевых эпизодов в 2000-2014 годах возрастали. В 2001 году в юго-центральной части Таджикистана отмечено рекордное число и общая продолжительности пылевых эпизодов (рис.7), в частности, только в летний период пылевая мгла длилась 29 дней. Высокая запыленность атмосферы наблюдалась в Таджикистане в 2007 и 2011 годах.

Можно предположить, что в эти годы также происходила пульсация ледника, к сожалению, наблюдения за ледником в этот период не проводились.

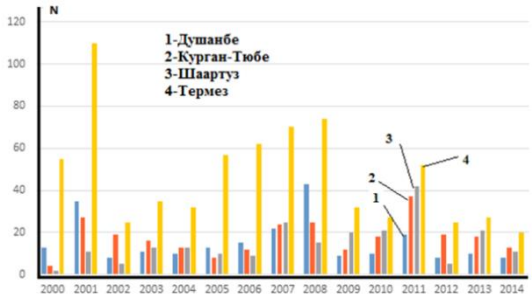


Рис.7. Межгодовая частота эпизодов ПВ за период 2000-2014 гг

Часть пыли, принесенной воздухом, осталась осевшей на поверхности ледника. Когда запыленный воздух проходит над холодной поверхностью льда, пыль быстро осаждается по механизму двойной диффузии [9-11]. Этот механизм включается, когда температура и концентрация пыли повышаются с ростом высоты. Другие необходимые для процесса быстрого бидиффузионного осаждения условия также достаточно часто выполняются в аэродисперсных системах [9-11]. Такой механизм осаждения обеспечивает возможность осаждения пылевых частиц на холодной поверхности ледников при прохождении над ними запыленного воздуха. При этом осаждаются и мелкие частицы, которые обычно долго находятся в воздухе и переносятся на огромные расстояния. Они сильнее снижают альбедо поверхности, чем крупные частицы, что повышает скорость таяния льда, а также содержат более высокие концентрации радионуклидов и тяжелых металлов.

Естественными стоками для атмосферного аэрозоля являются также холодные горные реки, около которых встречаются редкие атмосферные изотопы, которых нет вдали от реки [12].

Климатические изменения, наблюдающиеся в последние годы на севере и юге республики и на западном Памире, связанные с нарушением местных экосистем, вырубкой лесов и перевыпасом пастбищ, заметно влияют на климатические, экологические и агробиологические условия регионов республики. Участились природные катаклизмы (селевые потоки, дефицит или обилие осадков, эрозия и дегумификация почвы, опустынивание и водно-эрозионные процессы), наблюдается ускоренное таяние ледников и нестабильность урожайности сельскохозяйственных культур. Исследование факторов, влияющих на температуру приземного слоя атмосферы, в частности, роли пылевого аэрозоля, в условиях Таджикистана, позволяет понять природу этих сложных явлений, а также представляет научно-практический интерес для выбора методов решения экологических проблем.

Литература

[1]. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии. - Душанбе: Дониш, 2017, 416 с.
[2]. Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Исследование пылевой мглы аридной зоны - Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2013, т.49, №3,с. 304-313.
[3]. Маслов В.А. Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. О природе быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере - ДАН, 2017, т.60, №10, с.515-521.

[4]. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. О возможном механизме быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере - Известия РАН. Физика атмосферы и океана 2018, т.50, №4, с.489-491.
[5]. Hofer J., Althausen D., Abdullaev S. F., Makhmudov A. N., Nazarov B. I. et al. Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies/-Atmos. Chem. Phys., 2017, N17, pp.14559-14577, https://doi.org/ 10.5194/acp-17-14559-145772017 .
[6]. Ледники Таджикистана. Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой - Душанбе 2003, Интернет ресурс: http://www.cawater-info.net/ library / rus/glaciers_tj.pdf.
[7].https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/search/?f%5B0%5D=sm_field_dataset_type%3AReal-time.
[8]. Жиллет Д.А., Добровольски Дж. П. Исследования по осаждению пыли в районе Шаартуза. - В сб. Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля. СПб.: НПО Тайфун, 1992, с.39-49.
[9]. Maslov V., Abdullaev S., Nazarov B. Observation of rapid aerosol deposition according to AERONET data 03006 DOI: https:/ /doi. Org /10.1 051/ e3sconf / 20199903006.
[10]. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Б.И.Назаров О природе быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере – Доклады АН РТ, 2017, т.60, №10, с.515-521.
[11]. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Б.И.Назаров Наблюдение быстрого осаждения аэрозоля по данным АЭРОНЕТ// Доклады АН РТ. 2018, т. 61, №2, с.159-166.
[12]. Джураев А.А., Абдушукуров Д.А., Давлатшоев Т., Джураев Ан.А., Пассель Х. Радиоэкологическое обследование бассейна реки Варзоб. -Становление и развитие ядернофизических исследований в физико-техническом институте им. С.У. Умарова. Душанбе, 2012, т.2., с.422-455.

АЭРОЗОЛЬНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АНАПЕ 12.04.2021.I-КИЕВ

Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Лугмонова Ш.О.
Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе, Таджикистан
Email: vamaslov@inbox.ru , sabur.f.abdullaev@gmail.com

Перед мощными землетрясениями над сейсмической областью происходит интенсивная ионизация атмосферы, приводящая к значительному усилению конденсации водяного пара [1-3]. Согласно теоретическим представлениям, развитым в [4], молекулы водяного пара, представляющие из себя диполи, ускоренно конденсируются на электронах и других заряженных частицах. Это явление длится двое-трое суток, может быть зафиксировано станциями аэрозольной сети (AERONET) и использоваться в качестве одного из предвестников сейсмических событий. Такие предвестники имеют общие закономерности, но проявляются достаточно разнообразно, в зависимости от расположения измеряющей станции и эпицентра землетрясения, от высоты местности, влажности воздуха и других метеорологических параметров.

В настоящей статье аэрозольные предвестники землетрясений в атмосфере проанализированы на примере двух землетрясений с эпицентрами около Анапы, произошедшими 14 апреля (К=3.9 балла) и 18 апреля (К=3.8 балла) 2021 года. Данные с ближайших к эпицентру станций AERONET показали, что наиболее явные предсейсмические изменения аэрозольных параметров наблюдались в Киеве (Украина).

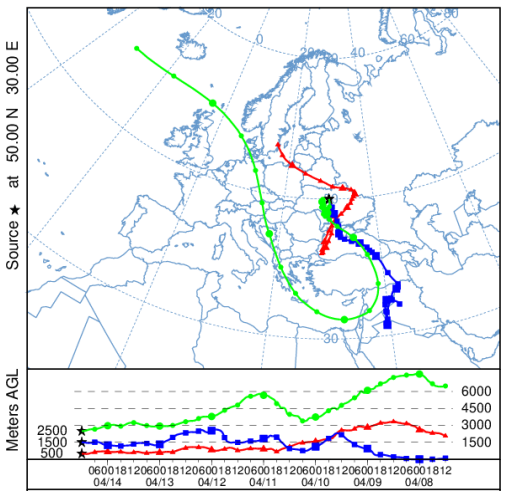


Рис.1. Обратные траектории воздушных масс в Киеве перед землетрясением 21.04.2021 в Анапе.

Обратные траектории движения воздушных масс, построенные для этого города за 7 суток до землетрясения (Рис.1), показывают, что воздушные массы, находившиеся над районом Черного моря, где позднее произошло землетрясение, через 7 суток пришли в окрестности точки наблюдения. Очевидно, что это способствовало интенсивности аэрозольных явлений в окрестности точки наблюдения, хотя самые нижние слои воздуха к моменту землетрясения пришли с другой стороны, с севера.

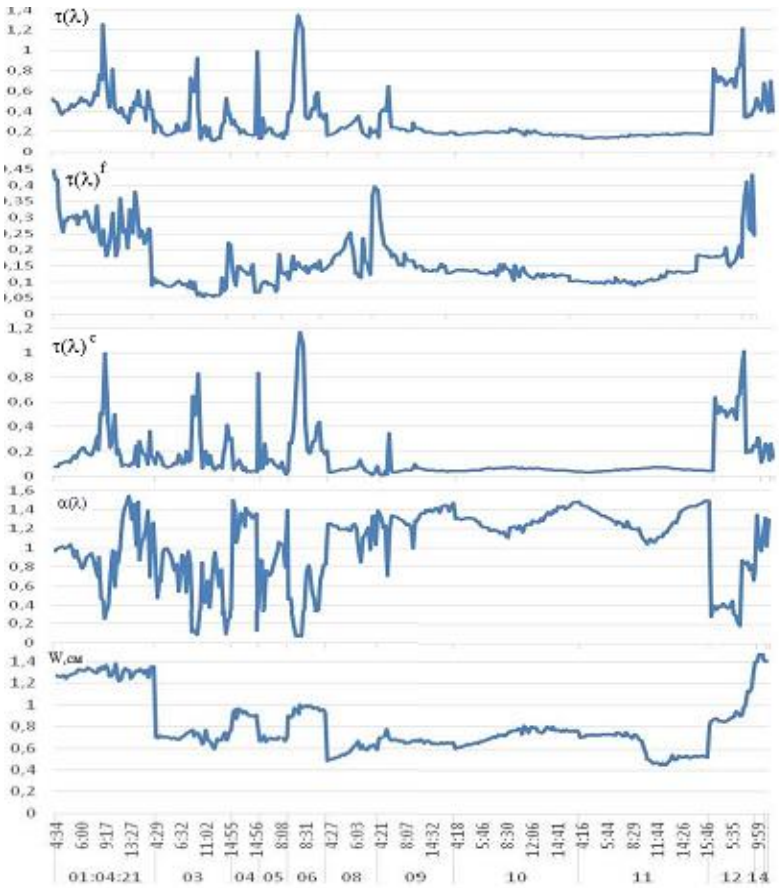


Рис.2.Изменение аэрозольных параметров атмосферы на станции AERONET в Киеве перед землетрясением 14.04.2021 в Анапе: АОТ, АОТ субмикронной фракции аэрозоля, АОТ крупнодисперсной фракции, параметра Ангстрема, влагосодержание столба воздуха.

Всплески АОТ отличаются характерной формой с несколькими максимумами, которая наблюдается в случае быстрого бидиффузионного осаждения аэрозоля в условиях инверсии распределения температуры и концентрации по высоте [5-7]. Значит, аэрозольные частицы появляются в атмосфере на некоторой высоте, а не выброшены снизу. Особенностью изменения аэрозольных предвестников землетрясения является отличающаяся структура вкладов в АОТ от крупных и мелких частиц. Это можно интерпретировать таким образом, что состояние атмосферы проходило ряд последовательных стадий, включающих рост и осаждение преимущественно мелких или преимущественно крупных частиц.

Отметим также весьма малое время измерений в дневное время в период, когда проявляются аэрозольные аномалии в атмосфере, появление облачности и осадков помешало проследить рост капель более детально. С 4 по 8 и с 12 по 14 апреля, когда наблюдались аномалии – быстрые всплески с увеличением АОТ и уменьшением параметра Ангстрема, значительную часть дня солнце было закрыто облаками. В первый из этих промежутков времени проявляются сейсмические аномалии перед землетрясением 14 апреля, а второй характеризует сейсмические изменения перед землетрясением 22 апреля.

Возникает вопрос, почему, высокие значения влагосодержания воздуха наблюдались 6 и 12-14 апреля, хотя в эти дни происходит интенсивная конденсация водяного пара и увеличение размеров водяных частиц, то есть влагосодержание должно было бы уменьшаться. Смены воздушных масс при этом не происходило. Парадокс разрешается при анализе алгоритма AERONET, используемого для вычисления влагосодержания воздуха.

$$W = (-\ln(T_W)/a)^{1/b}/m_g \qquad (1)$$

$$-\ln(T_W) = \ln(V_{940} \cdot d^{-2}) - \ln(V_{940}) - m \cdot (\tau_{940AOT} + \tau_{940Rayleigh}) \qquad (2)$$

В этих формулах W – влагосодержание столба атмосферы (см), T_W - вклад в пропускание света от водяного пара, m_W – оптическая воздушная масса водяного пара, d – отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к реальному, a и b – постоянные прибора, m – оптическая воздушная масса, V – напряжение, измеренное солнечным фотометром, пропорциональное спектральной энергетической мощности, достигающей прибора у поверхности.

Вид выражения (2) показывает, что при вычислении величины $-\ln(T_W)$ из точно измеренных величин вычитается величина $m \cdot \tau_{940AOT}$, вычисленная по известному алгоритму теории Ми. Для использования этого алгоритма необходимо определить распределение размеров частиц, что очень трудно сделать однозначно в случае заметного содержания крупнодисперсных частиц. Дело в том, что вклады в рассеяние и экстинкцию света частицами являются аддитивными только для субмикронной фракции аэрозоля. Крупные частицы рассеивают свет таким образом, что любая полоса поглощения света преобразуется в «полосу излучения» [8]. Таким образов, в формуле (2) вычитается меньше, чем следует, следовательно, АОТ на всех частотах оказывается ниже, чем следует, а влагосодержание – выше, чем на самом деле.

При пылевых вторжениях в Центральной Азии, где доля крупных минеральных частиц очень велика, вместо увеличения АОТ при увеличении размеров частиц из-за

конденсации водяного пара, наблюдается даже уменьшение величины АОТ [5]. То есть наблюдаемый «эффект повышения влагосодержания при конденсации водяного пара» является «вычислительным» и обусловлен трудностью определения распределения размеров крупнодисперсных частиц.

Доля крупных частиц при этом остается достаточно малой, хотя это явление можно заметить и на графике АОТ. В случае преобладающем вкладе крупной фракции аэрозоля в АОТ, наблюдающемся при пылевых эпизодах в Центральной Азии [1-3] , рассеяние света преобразует линии поглощения в «линии излучения». Поэтому быстрое конвективное осаждение аэрозоля проявляется в запыленном воздухе как просветление атмосферы и уменьшение АОТ.

Заметим, что в случае пылевых эпизодов в Центральной Азии [1-3.2018] изменения влагосодержания более велики и имеют значительную корреляцию с изменениями АОТ. Причиной тому может быть более высокое содержание водяного пара при пылевых вторжениях и отличие скорости конденсации водяного пара на минеральных частицах и в водяном аэрозоле, ионизированном сейсмическим воздействием.

Список литературы

1. Тертышников А.В., Важенин А.А. Аномальные пятисуточные вариации оптической толщины атмосферы над сейсмоопасными регионами перед сильными коровыми землетрясениями. - Гелиогеофизические исследования, 2012. Вып. 2, С. 33-39.
2. L. Sverdlik Variations of atmospheric aerosol parameters in periods of seismic activity in Tien-Shan. E3S Web of Conferences. 2020. DOI: http://doi.org/10.1051/e3conf/202014903007
3. Абдуллаев С. Ф., Маслов В. А., Лугмонова Ш. О. Аномальное изменение оптических характеристик атмосферы в Душанбе перед Афганским землетрясением 26.10.2015 // Гелиогеофизические исследования, 2021. Вып. 27. С. 36-45.
4. Похмельных Л.А. Электрическая вселенная. М.: САМ Полиграфист, 2019. 270 с.
5.Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. О природе быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере // Докл. АН Республики Таджикистан. – 2017. Т. 60, № 10. С. 510-515.
6. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. Наблюдение быстрого осаждения аэрозоля по данным AERONET // Докл. АН Республики Таджикистан. – 2018. Т. 61, № 2. С. 159-166.
7. Maslov V., Abdullaev S., Nazarov B. Observation of rapid aerosol deposition according to AERONET data // 2019. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199903006
8. Хюлст Г. ван де. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИИЛ, 1961. 536 с.

АЭРОЗОЛЬНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АНАПЕ 12.04.2021.II-ЯССЫ

Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Лугмонова Ш.О.
Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАН, Душанбе, Таджикистан
Email: vamaslov@inbox.ru , sabur.f.abdullaev@gmail.com

Наблюдение аэрозольных изменений в атмосфере перед относительно слабым землетрясением с эпицентрами вблизи Анапы (К=3.9 балла) 14 апреля 2021 года [1] в различных географических точках, позволяет оценить влияние метеорологических условий на проявление аэрозольных предвестников.

Интересные предсейсмические изменения аэрозольных параметров наблюдались на станциях AERONET в Яссах (Румыния). Обратные траектории движения воздушных масс, построенные для Ясс за 7 суток до землетрясения (Рис.1), показывают, что воздушные массы, находившиеся над районом Черного моря, где позднее произошло землетрясение, через 7 суток пришли в окрестности Ясс.

Аэрозольные данные из Ясс позволяют наблюдать быстрое осаждение водяных капель, проявляющееся как повторяющееся утром несколько дней подряд резкое увеличение АОТ крупнодисперсной фракции аэрозоля и соответствующее резкое уменьшение параметра Ангстрема. Это означает, что в ночное время не только понижается температура воздуха, но и создается её инверсионное распределение, то есть с высотой температура возрастает. Соответственно, конденсация водяного пара и коалесценция водяных капель происходят не медленным диффузионным способом, а быстро – по конвективному механизму двойной диффузии [2-4]. При этом по мере изменения величины температурной инверсии изменяется и скорость конденсации, поэтому наблюдаются два или более пиков на графиках АОТ крупной фракции аэрозоля и параметра Ангстрема.

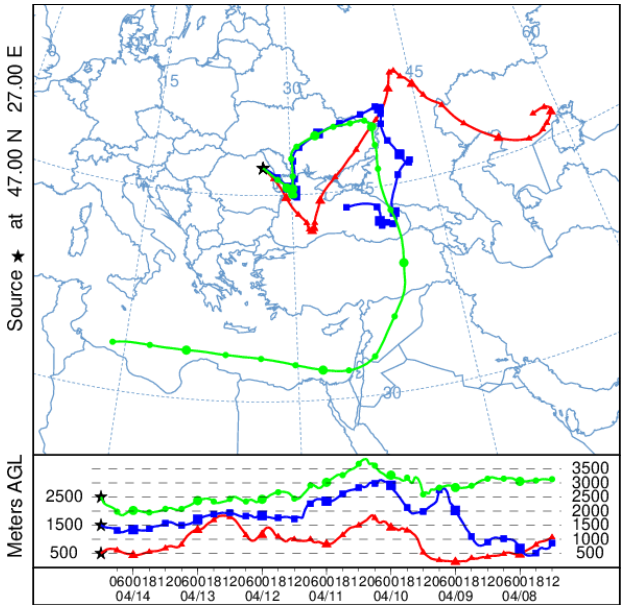


Рис.1. Обратные траектории воздушных масс в Яссах перед землетрясением 14.04.2021 в Анапе.

Такие регулярные утренние всплески АОТ и параметра Ангстрема наблюдатель видит как легкую дымку, туман или выпадение росы. Как правило приземная температурная инверсия в атмосфере образуется именно в утренние часы.

Значительное увеличение АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракций аэрозоля и соответствующее уменьшение параметра Ангстрема, произошедшее 13 апреля 2021 года, скорее всего, является предвестником следующего землетрясения с эпицентром вблизи Анапы, произошедшим 18 апреля (К= 3.8)

Таким образом, даже в случае относительно слабых землетрясений, аэрозольные предвестники в атмосфере можно отличить от изменений аэрозольных параметров, связанных с другими метеорологическими факторами. На наш взгляд, наиболее оперативным методом выявления таких предвестников в автоматическом режиме путем отсеивания всплесков, связанных влиянием других метеорологических факторов и учетом перемещения воздушных масс, было бы проведение постоянного мониторинга

непосредственно в сети AERONET. Достаточно развитая на планете сеть станций AERONET и централизованный способ обработки первичных данных позволяют осуществить это без особых проблем.

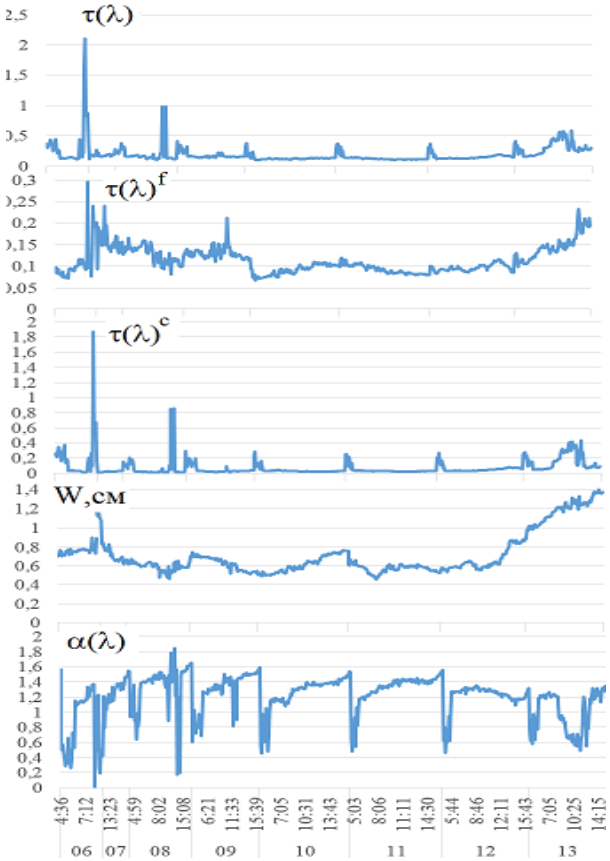


Рис.2.Изменение аэрозольных параметров атмосферы на станции AERONET в Яссах перед землетрясением 14.04.2021 в Анапе: АОТ, АОТ субмикронной фракции аэрозоля, АОТ крупнодисперсной фракции, параметра Ангстрема, влагосодержание столба воздуха.

Список литературы

1.Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф. Аэрозольные предвестники землетрясения в Анапе 12.04.2021-1-Киев.// Материалы Симпозиума физиков Таджикистана, Душанбе, 2021.
2. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. О природе быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере // Докл. АН Республики Таджикистан. – 2017. Т. 60, № 10. С. 510-515.
3. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. Наблюдение быстрого осаждения аэрозоля по данным AERONET // Докл. АН Республики Таджикистан. – 2018. Т. 61, № 2. С. 159-166.
4. Maslov V., Abdullaev S., Nazarov B. Observation of rapid aerosol deposition according to AERONET data // 2019. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199903006

СООТНОШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Pb, Zn И As В ПРОБАХ ПОЧВ И АЭРОЗОЛЯ ХУДЖАНДА С ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Рахматов М.Н., Абдуллаев С.Ф.
muhamadi.rahmatov@yandex.ru

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием промышленности во всём мире усиливается загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами в масштабах, которые не свойственны природе. В силу этого

возрастание их содержания в окружающей среде становится серьёзной экологической проблемой современности. Согласно исследованию авторов [1-5], ряд тяжелых металлов и металлоидов, присутствующих в атмосфере – Ni, Pb, S, V, Mo, Zn, Cu, As, Cd, Ag, Hg, Se, Sb – имеют преимущественно антропогенное происхождение. Небезосновательно предполагается [1,2], что больше половины из них попадает в атмосферу в парогазовой фазе и, как правило, в результате процессов промышленного горения. Их последующая конденсация приводит к образованию наиболее мелких и долгоживущих в атмосфере частиц, перемещающихся на большие расстояния.

Поэтому для решения подобных климатологических, экологических и прочих задач физики и химии атмосферы необходимо адекватно учитывать вклад всех её компонент, а, следовательно, достоверно знать источники и стоки, механизмы и закономерности формирования их полей концентраций во времени и пространстве.

Целью работы является исследование соотношение содержание Pb, Zn и As в пробах почв и аэрозоля Худжанда с юго-восточной части Согдийской области.

Результаты и обсуждение

Результаты измерений показали, что концентрация Pb и Zn в пробах почв юго-восточной части Согдийской области немного ниже, чем в пробах почв в Худжанде, за исключением мышьяка. Среднее содержание мышьяка в юго-восточной части Согдийской области (33,55 ppm*) в 1,3 раз выше, чем в пробах почв в Худжанд (25,7 ppm) (рис. 1). В результате исследования установлено, что содержание свинца в почвах юго-восточной части Северного Таджикистана колеблется от 2 ppm до 32,81 ppm. Средняя концентрация Pb не превышала ПДК (ПДК при 32 ppm) и составила в 12,63 ppm. Если полученные данные по концентрации свинца в почвах юго-восточной части Согдийской области сравниваем с данными по городу Худжанда увидим, что среднее содержание свинца в исследуемых пробах почв почти 2 – разе меньше чем пробах почв г. Худжанд.

Установлено, что содержание As в пробах почв колеблется от 1,56 ppm по 123,25 ppm, среднее содержание на пробах почв составило 33,55 ppm. Среднее содержание As в пробах почв превышает фоновое значение в 21,5 раз. Наиболее высокое содержание As зафиксировано на территории села Обджувоз Истаравшанском районе и составило 123,25 ppm. Минимальное содержание As отмечено в пробах почв в Деваштичском районе села Верхний Далян составляет 1,56 ppm. Полученные данные свидетельствуют, что среднее содержание As в пробах почв 16,8 раз превышает значения ПДК. В ходе исследования было установлено, что содержания Zn в пробах почв юго-восточной части Северного Таджикистана варьировало от 30,93 до 257 ppm. На рис.1 в виде гистограммы иллюстрирует количество цинка в почве исследуемой территории. Содержание цинк в исследуемых почвах отмечена в пределах ПДК.

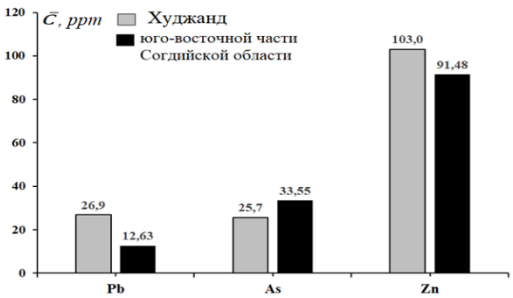


Рис. 1. Среднее содержание ТМ в пробах почв

Среднее содержание свинца (162,3 ppm) в пробах аэрозоля Худжанд 4 раза выше, чем пробах аэрозоля (39,43 ppm) в юго-восточной части Согдийской области. В пробах атмосферного аэрозоля в г. Худжанде также отмечено более высокое содержание мышьяка, чем юго-восточной части области (рис. 2). Среднее содержание Pb в Деваштичском районе в пробах атмосферного аэрозоля (80,9 ppm) – в 7,9 раз выше, чем в пробах почв (10,2 ppm). В Истаравшанском района концентрация свинца в 2,46 раза выше, чем в почве. В Шахристанском районе концентрация Pb в пробах аэрозоле не превышает по сравнению пробах почв. Среднее содержание As в частицах аэрозоля (14 ppm) в Деваштичском района в 1,13 раз превышает содержание Pb в почве (12.38 ppm). В остальных районах содержание As немного ниже, чем в пробах почв.

В Деваштичскомом районе среднее содержание цинка в пробах атмосферного аэрозоля в 9 раза выше, чем в почве. Максимальное содержание цинка в пробах АА в Деваштичском районе 14,9 раз выше по сравнению с пробами почв. Содержание цинка в Шахристанском районе в составе АА по сравнению почв немного ниже.

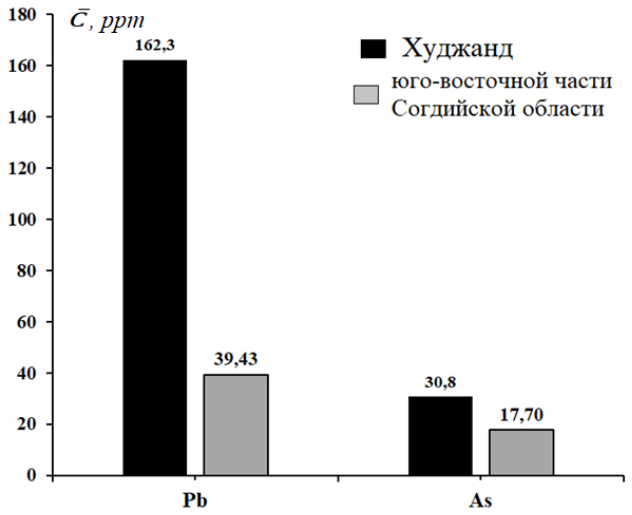


Рис. 2. Среднее содержание Pb и As в пробах аэрозоля

Установлено, что среднее содержание Zn в пробах почв юго-восточной части области 1,3 раз выше, чем в пробах почв Худжанд (рис. 3).

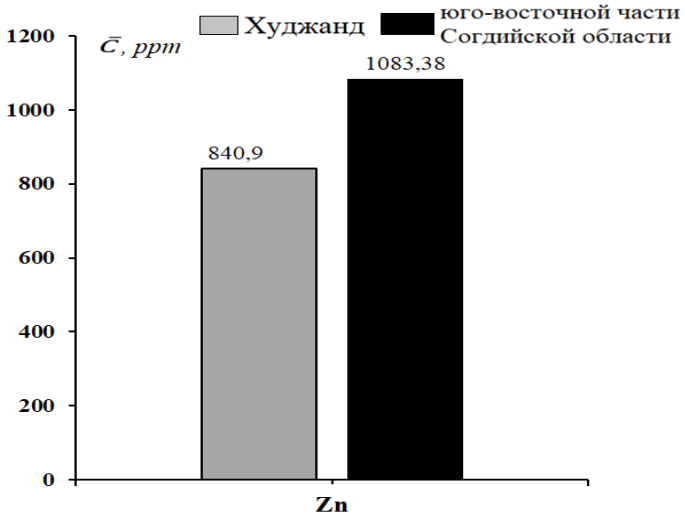


Рис. 3. Среднее содержание Zn в пробах атмосферного аэрозоля

Таким образом, содержания I-ого класса опасности тяжелых металлов (Pb, Zn и As) в пробах почв в юго-восточной части Северного Таджикистана зафиксировано за пределы ПДК. Только концентрации As в пробах, отобранных на территории Истравшанского района превышает значение ПДК.

В юго-восточной части Северного Таджикистана отмечена, что концентрации Pb и Zn в пробах атмосферного аэрозоля 3 и 11 – раза выше, чем почв. Среднее содержание As в составе аэрозоля зафиксировано ниже, чем, пробах почв.

Список литературы

1. Alloway, B. J. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioacailability / B. J. Alloway //. 3rd ed. L. Springer. - 2013. - 613 p.
2. Kabata-Pendias, A. Trace Elements from Soil to Human / A. Kabata-Pendias, A. B. Mukherjee // Springer Science & Business Media. -2007.-550 p.
3. Little, P., Martin, M. Biological monitoring of heavy metals pollution / P. Little // Environ. Pollut. – 1974. – Vol. 6. – P. 1-19.
4. Дабахов, М. В. Экотоксикология и проблемы нормирования / М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова, В. И. Титова; Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
5. Gulson, B. T.Use of lead isotopes in soils to identify the source of lead contamination near Adelaide South Australia / B. T. Gulson, K. G. Tiller, K.J. Mizon, R.M. Merry // Environ. Sci. Technol.- 1981.- №15.- p. 691–696.

КАТИОННЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ г.ДУШАНБЕ

С.Р.Шарипов*, С.Ф.Абдуллаев, В.А.Маслов

Физико-технический институт им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана

** Кулябский государственный университет им. А. Рудаки*

E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com

В статье сравниваются концентрации катионов атмосферного аэрозоля (Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) в полуаридной зоне Таджикистана и других регионах мира. Установлено, что среди пяти протестированных катионов, самая высокая концентрация в полуаридной зоне Таджикистана у ионов кальция. Причиной высокой концентрации кальция является ТЭЦ, завод «Таджикцемент» и транспорт.

Ключевые слова: *аэрозоль, катионный состав, взвешенные частицы*.

Вредное воздействие атмосферных аэрозольных катионов на здоровье человека огромно. Они могут вызвать у людей сердечнососудистые, респираторные и различные кожные заболевания. Кальций является важнейшим биогенным элементом, его вредное действие возможно лишь при поступлении в организм в очень больших дозах. В виде пыли или аэрозоля соединения кальция оказывают сильное прижигающее действие на кожу и слизистые оболочки. Особенно опасна окись кальция CaO, действие которой состоит в омылении жиров, поглощении из кожи влаги, растворении белков, раздражении тканей [1]. Много кальция содержат бытовые стоки прачечных [2]. Крупнейшими источниками катионов натрия, калия и магния в атмосферном аэрозоле являются водные системы

(океаны, моря) и почва, ионы аммония имеют газофазное происхождение [1, 3]. Основными источниками катионов кальция, поступающего в атмосферу, являются переработка природного сырья, производство цемента и производство сточных вод (бумага, химикаты и фармацевтические препараты). Другим источником кальция являются почвенно - эрозионные процессы [1-3].

Цель статьи - определение катионного состава аэрозоля, нахождение его источников в полуаридной зоне Таджикистана, а также сравнение временных вариаций концентраций катионов для выявления факторов, влияющих на колебания концентрации катионов в атмосфере.

В табл. 1 приведены средние значения концентрации катионов атмосферного аэрозоля, собранного в полуаридной зоне Таджикистана (в 1983 и в 2016 годах) и еще в 20 регионах мира. Измерения, проводившиеся в Душанбе в 2015-2016 годах в рамках проекта CADEX [5, 6] можно сравнить в первую очередь с проводившимися здесь же, в Центральной Азии измерениями 1983 года [4]. Классификация различных типов аэрозолей, наблюдаемых над Душанбе, Таджикистан, дана в статье [7], на основе соотношения между оптической толщиной аэрозоля (AOT) и показателем Ангстрема (AE). Выявлено пять основных типов аэрозолей со значительным массовым содержанием: чисто континентальный (16.97%), морской (15.68%), городской/промышленный и сжигание биомассы (7.69%), пустынная пыль (2.71%), смешанный (56.95%).

Как видно из табл. 1, средние концентрации аэрозольных анионов в Душанбе, полученные в 2015 и в 1983 годах значительно отличаются. Это, очевидно, отражает изменение экологической ситуации в регионе. Приведенные данные позволяют оценить связь изменений катионного состава аэрозоля в Душанбе через 30 лет с конкретными источниками катионов в стране. Исследования и наблюдения показали, что средняя концентрация катионов натрия, аммония и магния в атмосферном аэрозоле Таджикистана (в 2014-2016 годах) снизилась по сравнению с 1983 годом.

Таблица 1

Средние концентрации атмосферных катионов в Таджикистане и других регионах мира.

№	Источник / Катион	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
1	Таджикистан (2016)	0.247	1.282	0.551	0.081	**2.13**
2	Таджикистан (1983) [4]	1.27	3.38	0.48	**1.58**	0
3	ЕТС [4]	0.852	1.5749	0.1255	0.1606	0.3372
4	Россия (Урал) [4]	0.81	0.495	0.1175	0.1781	0.711
5	Казахстан [4]	0.4183	1.0096	0.0383	0.2472	0.3011
6	Туркменистан [4]	1.5807	0.8454	0.4243	0.4528	**2.9871**
7	Узбекистан [4]	0.7823	2.4614	0.2179	0.2287	**3.015**
8	Кыргызстан [4]	0.063	1.88	0.09	0.1274	0.5022
9	Россия (Западная Сибирь) [4]	0.6803	1.2372	0.1128	0.1304	0.1538
10	Россия (Восточная Сибирь) [4]	0.4072	1.0262	0.1451	0.0896	0.2093
11	Россия (Дальний Восток) [4]	0.4767	0.9422	0.101	0.3149	0.2129
12	Россия (Камчатка) [4]	0.915	1.7313	0.8565	0.0906	0.9096
13	США (Сан-Хосе) [8]	0.75	0.35	0.29	0.06	0.41
14	Северная Индия [9]	0.84	0.46	0.1	0.18	0.68
15	Китай, северо-запад [10]	**3.33**	**20.48**	**7.96**	0.75	0.71

16	Китай (Юлинь) [11]	**3.7**	2.4	0.7	0.5	**7.4**
17	Китай (Пекин) [12]	0.91	**10.2**	**1.39**	0.46	**3.92**
18	Саудовская Аравия (Мекка) [13]	-	3.6	2	-	-
19	Италия (Неаполь) [14]	1.7	0.3	0.4	0.2	1.5
20	Африка (Кабо Верде) [15]	**3.7**	0.09	0.13	0.4	0.64
21	Испания (Эльче) [16]	0.45	0.58	0.21	0.07	0.93
22	Испания (Гранада) [17]	0.5	-	0.5	0.7	**3**

Снижение средней концентрации этих катионов в атмосфере Таджикистана связано с сокращением использования удобрений, таких как нитрат натрия, сульфат аммония и сульфат магния. Резкое сокращение содержания в атмосфере катионов магния связано и с уменьшением выбросов алюминиевого завода (ТАЛКО). Производство алюминия за это период (33 года) сократилось в 4 раза. Сократились также выбросы Яванского электрохимического завода (Таджикхимпром) и Вахшского азотно-тукового комбината, что было связано с уменьшением производства и с проведением экологических мероприятий по сокращению выбросов.

Согласно данным [18] в 1980-1986 годах количество орошаемых земель составляло 662 тысячи гектаров, а по данным [19] к 2014 году количество орошаемых земель снизилось до 592.3 тысячи гектаров. То есть из-за роста населения и перераспределения земли, около 70 тысяч гектаров орошаемых земель было сокращено. Из этого можно сделать вывод, что использование удобрений в сельском хозяйстве сократилось по сравнению с предыдущими годами. Увеличение среднего значения концентрации катионов калия в аэрозоле Таджикистана связано с уменьшением Аральского моря. Катионы калия попадают в атмосферу Таджикистана ветрами с засушливых земель Аральского моря. Увеличение среднего значения концентрации катионов кальция в аэрозоле Таджикистана связано с заводом Таджикцемент и структурами, в которых используется цемент.

В табл. 1 приведены средние концентрации аэрозольных катионов в полуаридной зоне Таджикистана и предыдущие данные по Таджикистану и 20 регионам мира. Как видно из табл.1, максимальные средние концентрации катионов натрия, аммония и калия отмечены в Китае (северо-запад, Юлинь, и Пекин) [10, 11, 12], магния – в Таджикистане (1983) [4], кальция – в Китае (Пекин) [11], Узбекистане [4], Туркменистане [4] и в Таджикистане (2016). Одной из причин высокой концентрации большинства катионов в атмосфере Китая является его мировое лидерство в производстве продуктов питания и цемента, в потреблении угля, древесины, удобрений. При этом на душу населения в Китае приходится в 5 раз меньше площади леса по сравнению со средним мировым показателем [20].

Диапазоны изменения концентрации катионов в атмосфере (от минимума до максимума) в Таджикистане и других регионах мира приведены в таблице 2.

Как видно из табл. 2, максимальная концентрация катионов натрия и магния наблюдается в аэрозоле монгольской столицы Улан-Батор. По данным статьи [21] основной вклад в общее загрязнение атмосферного воздуха дают ТЭЦ и другие источники тепла. Максимальные концентрации катионов магния и кальция в атмосферном аэрозоле обнаружены в Душанбе. Как упоминалось ранее, основными источниками катионов здесь

являются внесение удобрений, выбросы ТЭЦ, цементного завода и транспорта, а также соли со дна высыхающего Аральского моря [22-23].

Таблица 2

Концентрации аэрозольных катионов в Душанбе и других регионах мира.

Источник/катион	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
Таджикистан (Душанбе)	0.009-0.87	0.088-8.696	0.126-1.65	0.013-**0.406**	0.348-**6.248**
Монголия (Улан-Батор) [21]	3.55-**10.16**	0-**13.18**	#	#	#
Монголия (Южная Гоби) [21]	3.38-9.13	#	0.78-1.96	#	1.74-6.07
США (Сан-Хосе) [8]	0.21-2.07	0.03-1.95	0.01-2.84	0.02-0.2	0.03-1.82
Китай (Северо-запад) [11]	2.12-5.56	0.78-49.32	**1.32-15.34**	0.55-**1.26**	0.07-4.27
Саудовская Аравия (Мекка) [13]	-	0.5-8.88	**0.33-9.31**	-	-
Италия (Неаполь) [14]	1.1-3.3	0-0.9	0.3-0.5	0.1-**0.4**	0.9-2.2
Африка (Cape Verde) [16]	0.25-12.74	0-0.76	0-0.86	0.05-**1.34**	0-4.44
Испания (Эльче) [17]	0.06-2.13	0.06-2.59	0.04-2.07	0.01-0.32	0.26-5.5

Проведенные исследования показывают, что социально-экономические перемены в стране привели к серьезным изменениям антропогенного вклада в катионный состав антропогенного аэрозоля.

Литература

1. Покровский В.А. Гигиена. - М.: Медицина, 1979, 497 с.
2. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния и загрязнения атмосферы в городах - Л.: Гидрометеоиздат, 1986, 200 с.
3. Куценогий К.П., Трубина Л.К. Комплексный мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири. - Гео - Сибирь, 2005, с. 9-18.
4. Толмачев Г.Н. Горизонтальное распределение ионно-элементного состава атмосферного аэрозоля над территорией СССР. - Сбор. матер. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли», 2018, с. 142-151
5. Абдуллаев С.Ф., Шарипов С.Р., Фомба К.В. и др. Мониторинг ионного состава атмосферного аэрозоля частиц до 10 мкм (PM10) полуаридной зоны Таджикистана. - Деп. в ГУ НПИЦентр 2018 г., 05.11.18, № 990/013, 14 с.
6. Абдуллаев С.Ф., Шарипов С.Р., Фомба К.В. и др. Ионный состав атмосферного аэрозоля в период CADEX (2014 - 2016) в Таджикистане. - Вестник ТНУ, 2018, № 4, т. 264, с. 115-122.
7. Rupakheti D., Kang S., Rupakheti M., Abdullaev S., Yin X. Columnar aerosol properties and radiative effects over Dushanbe, Tajikistan in Central Asia. – Environmental Pollution v. 265, Part B, October 2020, 114872, https://doi.org /10.1016/ j.envpol.2020.114872
8. Herrera J., Rodriguez S., Baez A. P. Chemical Composition and Sources of PM10 Particulate Matter Collected in San José, Costa Rica-Atmos. Sci. J, 2009, v. 3, pp. 124-130.
9. Salve P.R., Krupadam R.J., Wate S.R. A study on major inorganic ion composition of atmospheric aerosols. - J. of Environ. Biology. 2007, v. 28, № 2, pp. 241-244.
10. Chong-Shu Z., Jun-Ji C., Zhen-Xing S., et al. Indoor and Outdoor Chemical Components of $PM_{2.5}$in the Rural Areas of Northwestern China. - Aerosol and Air Qual. Res., 2012, v. 12, pp. 1157-1165.

11. Yali L., Zhenxing S., Zhuoyue T. et. al. Aerosols chemical composition, light extinction, and source apportionment near a desert margin city, Yulin, China. - Peer. J., 2020, pp. 1-18.
12.Yan-Ju Liu, Ting-Ting Zhang, Qing-Yang Liu, et. al. Seasonal Variation of physical and Chemical Properties in TSP, PM10and PM2.5at a Roadside Site in Beijing and Their Influence on Atmospheric Visibility. - Aerosol and Air Quality Res., 2014, v.14, pp. 954–969.
13. Turki M.A. H. Source apportionment of pm2.5 emissions in Makkah, Saudi Arabia: using a positive matrix factorization model. - Ass. Univ. Bull. Environ. Res., 2017, v. 20, pp.21-34.
14. Chianese E., Tirimberio G., Riccio A. $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the urban area of Naples: chemical composition, chemical properties and influence of air masses origin. - J. of Atmos. Chem., 2019, v. 76, pp. 151-169.
15. Fomba K. W., Müller K., van Pinxteren D. et al. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011. - Atmos. Chem. Phys., 2014, v. 14, pp. 8883–8904.
16. Lorena Moreno M.C. Ambientales. Variabilidad de la composición química mayoritaria de la fracción PM10 en Elche - Migel Hrándz Univ., 2016, pp.1-40.
17. Titos G., Lyamani H., Pandolfi, M., et. al. Identification of fine (PM_1) and coarse (PM_{10-1}) sources of particulate matter in an urban environment. - Atmospheric Environment., 2014, V.14, pp. 1-54.
18. Интернет ресурс: ru.wikipedia.org/wiki/Сельское_хозяйство_Таджикистана
19. Интернет ресурс: www.mfa.tj/tg/main/tojikiston/malumoti-umumi
20. Аргучинцев, В.К., Ариунсанаа, Б.-Э., Аргучинцева А.В. Распределение примесей в атмосфере г. Улан-Батора. – Известия Иркутского Гос. Унив., 2013, т. 6, № 2, с. 35-46
21. Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Стариков А.В. Результаты исследований ионного состава аэрозолей в атмосфере Монголии. - Оптика атмосферы и океана, 2013, № 6, с. 472-477.
22. Интернет ресурс: https://gnoom63.livejournal.com/11731.html
23. Назаров Б.И., Ивлев Л.С. Абдуллаев С.Ф. Исследования структуры и свойств пылевых и аэрозолеобразующих примесей в аридной зоне юго – восточных районов Центральной Азии и их влияния на региональный климат. -Душанбе: Ирфон, - 2015, 482 с.
24. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии. Душанбе: Дониш, - 2017, 416 с.

НАҚШИ ИЛМ ДАР АРСАИ ҶАҲОНӢ ВА ИНКИШОФИ ҶАМЪИЯТИ МУОСИР

Ф. Холмуродов
Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

“Илм ин кори тафаккури монданашавандаи асрҳост: ба воситаи система ҷамъ овардани тамоми падидаҳои маърифатии ҷаҳони мо”.

Алберт Эйнштейн

Илм дар ҷамъияти муосир дар бисёр соҳаҳои ҳаёти инсоният нақши муҳим дорад. Сатҳи рушди илм яке аз нишондиҳандаҳои асосии инкишофи ҷамъият ба ҳисоб рафта, инчунин ин нишондиҳандаи инкишофи давлати муосирро низ таҷассум менамояд. Он муҳите, ки инсонро иҳота менамояд – ин ҳама дастовардҳои илм мебошад.

Илми муосир дорои иконнятҳои беназир мебошад. Ҳанӯз дар соли 1904 Никола Тесла пешгӯйӣ намуда буд, ки замоне меояд инсон метавонад идроки худро ба масофаҳои дур фиристода тавонад. Бо гузашти як аср ин пешгӯйӣ имконпазир гашт. Иттилоотикунонии ҷаъият то ба сатҳи баланде расид, ки имрӯзҳо амалан дилхоҳ

маълумотро инсон дар шабакаи интернет дастрас намуданаш мумкин аст. Дар ҳар як хона ва утоқи корӣ ҳоло компютер ва интернет вуҷуд дорад. Онҳо то дараҷае рӯзмарра шудаанд, ки инсон аз хатарҳои таҳдидкунандаи истифодабарии онҳо бехабар мондааст. Компютер – манбаи якчанд намудҳои афканишот ва майдонҳо ба ҳисоб меравад. Найчаи электронӣ-нурии монитори компютерҳои статсионарӣ ва ноутбукҳо афканиши ионизатсиякуандаро ба вуҷуд меоранд. Ба мисли дилхоҳ таҷҳизотҳои электрикии мавҷуда, компютер манбаи афканиши электромагнитӣ мебошад. Ҳамаи таҷҳизотҳо ва асбобҳои ёрирасони электрикии ба компютер шомил майдони электромагнитии мураккабро ҳосил мекунанд. Аксар таҳқиқотҳои муосири вобаста ба таъсири афканиши электромагнитӣ, оид ба зарари он ба саломатии инсон равона карда шудааст.

Бо вуҷуди ин илм дар марҳалаи муосир кӯшиш менамояд, соҳаҳои навро дар дохили сохторҳои ҷамъиятҳои илмӣ ташкил намуда, дигар муаммоҳоро низ ҳал намояд. Ин муаммоҳоро илми эргономика – илм дар бораи омӯзиши амали мутақобилаи инсон бо компютер ва дигар техникаҳо, таҳқиқ менамояд. Эргономика бо омӯзиши маҷмӯавии фаъолияти меҳнатии инсон машғул буда, бинобар ин бисёр самтҳои илмиро ба мисли физиология, гигиенаи меҳнат, руҳшиносӣ ва дигарҳоро муттаҳид менамояд. Олимони ин соҳаҳо кӯшиш менамоянд роҳҳои пасткунии сарбориро ба узвҳои инсон, ки бо кор дар компютер алоқаманд мебошад, муқаррар намоянд ва дар ихтирои техникаи мукаммал ва бехатар иштирок мекунанд.

Физика ва химия, ки қонунҳои асосии табиатро мемӯзанд, низ доимо рушд меёбанд. Ин илмҳо дар ду самт инкишоф меёбанд – ҳамчун илмҳои бунёдӣ дар офариниш ва омӯзиши асосҳои донишҳои физикию кимиёвӣ ва ҳамчун илмҳои таҷрибавӣ дар ҳалли масъалаҳои амалии истифодабарӣ дар соҳаҳои гуногуни ҳаёти одамон.

Дар қарни XXI инсоният қариб ҳамаи фазои курраи заминро банд намуд. Мо дар кишварҳои гуногун, арзҳои гуногун, маконҳои гуногун зиндагӣ ва амал дорем ва бинобар ин ҳар як кишвар дорои хусусиятҳои хоси шароити табиӣ ва боду ҳаво мебошад. Бисёр мамлакатҳо доимо дар таҳти таҳдиди хатари офатҳои табиӣ қарор доранд. Мутаассифона, маҳдудиятнокии захираҳои табиӣ ҳарчӣ бисёртар худро маълум менамояд.

Бинобар ин дар ин васила илмҳои география, геология, энергетика ва заминшиносӣ мавқеи хосаеро ишғол мекунанд. Ин илмҳои соҳаҳои гуногуни дониш дар талоши онанд, ки ҷамъиятро аз офатҳои табиӣ пешгирӣ намоянд, манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва канданиҳои фоиданокро, ки инсоният ҳамарӯза ба он ниёзманд мебошад, дарёфт кунанд.

Дар замони имрӯза некӯаҳволии кишвар бевосита аз ҳолати соҳаҳои илми он зич алоқаманд мебошад. Ба ақидаи ман, танҳо он мамлакатҳое, ки ба тадқиқотҳои илмӣ бо назари ҷиддӣ нигоҳ мекунанд, бомуваффақият технологияҳои навини назаррасро аз худ менамоянд, барои ба ин мақсад ноил шудан воситаҳои молии тавоно, иттилоотӣ, истеҳсолотӣ, зеҳниро ҷудо мекунанд, пешоҳанги мусаллаҳшавии сиёсиву иқтисодии муосир мебошанд, дар саҳнаи ҷаҳонӣ мавқеи авангардро ишғол менамоянд.

Ҷамъияти муосирро бе илм идора намудан имконнопазир мебошад. Дар марҳаллаи нави рушд илм сохтори иҷтимоии ҷамъиятро тағйир медиҳад. Дар миқёси ҷаҳон тамоюли баландравии шумораи бо меҳнати зеҳнӣ машғул ва пастравии шумораи бо меҳнати ҷисмонии ғайритахассусӣ банд мушоҳида мешавад.

Илм ба инсон бевосита ба воситаи фарҳанг ва идрок таъсир мерасонад. Омӯзиши асарҳои илмӣ ва ноилшавӣ ба инкишофи кӯдакон, ташаккулёбии онҳо ҳамчун шахси бафарҳанг мусоидат менамояд. Дар асоси раванди таълими муосир тасвири илмии ҷаҳонӣ ва соҳаи маорифи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба усулҳои илмии тавсиядиҳанда такя мекунад.

Илм ба раванди таълим ва тағйирдиҳии сохтори таълим таъсири бевосита расонида, ба ҳамаи самтҳои он: мақсад, вазифа, принсипҳо, шакл ва усулҳо, воситаҳо, натиҷаҳо паҳн мешавад.

Ташаккулёбии ҷаҳонбинии илмӣ маҳз тавассути системаи таълим баргузор мегардад, ки дар тарбия ва мукаммалсозии шахсият нақши муҳимеро бозӣ мекунад. Сиёсати имрӯзаи соҳаи таълим ва илм ба он равона карда шудааст, то ки иқтидори бузурги мутахассисон ва бакалаврҳои маълумоти олӣ дошта тайёр ва истифода карда шаванд. Дар ин хусус он ҳақиқат шаҳодат медиҳад, ки миқдори фаъолияти илмӣ, баландравии итиллоти илмӣ, ихтироот, шумораи кормандони илм, аспирантҳо, дотсентҳо ба ҳисоби миёна дар ҳар 5-10 сол ду маротиба меафзояд, ки ин барои ҷумҳуриамон боиси ифтихор мебошад.

Дар замони имрӯза як тамоили манфӣ ба чашм назаррас шуда истодааст. Омӯзгорон ва донишмандон кӯшиш карда истодаанд, ки илмҳои пешқадамтаринро ба толибилмон тавассути шабакаи интернет пешкаш намоянд, ки ин ҳол ба нестшавии алоқаи зиндаи толибилм ва омӯзгор меорад. Афзалият ба «коллеҷҳои ноаён», омӯзиш дар масофа, институтҳои виртуалӣ дода мешаванд. Дар ин сурат нақши омӯзгор паст мешавад, тарбияи насли наврас бо мисолҳои зинда низ нест мешавад. Албатта ин барои насли оянда ба оқибати манфӣ оварда мерасонад.

Асри XX дар соҳаи рушди техникӣ бобарортарин аср ба ҳисоб меравад. Бо боварии том қайд намудан ҷоиз аст, ки дар сад соли сипарӣ миқдори ихтироотҳои ба қайд гирифта, на камтар аз шумораи ихтироотҳо дар таърихи аз ин пешинатари инсоният мебошад. Саҳме, ки илм дар қарни бист дар рушди башарият гузоштааст, ниҳоят бузург аст. Аммо маблағеро, ки инсоният дар тӯли таърихи худ барои таҳқиқоти илми бунёдӣ сарф кардааст, ҷамъ кунем, ин миқдор бо ягон буҷаи дилхоҳ кишвари пешрафта қиёснопазир хоҳад буд. Иёлотҳо миқдори зиёди маблағҳоро аз даст медиҳанд, ҳол он ки метавонистанд барои муборизa бо гуруснагӣ ва беморӣ ва дигар мушкилоте, ки сарони давлатҳо доранд, сарф карда шаванд.

Навигариҳои охирини илмӣ, илова бар манфиатҳои бешубҳа, хатари эҳтимолӣ низ доранд. Истеҳсолкунандагони миқдори азими энергия, нерӯгоҳҳои барқӣ-ҳароратӣ ба атмосфера миллионҳо тонна хокистар ва газҳо партофта, муҳити атрофро ифлос мекунанд ва қабати озонии сайёраро хароб мекунанд. Садамаҳо дар нерӯгоҳҳои атомӣ ва корхонаҳое, ки маводи радиоактивиро истифода мебаранд, ба оқибатҳои фалокатовар оварда мерасонанд. Яке аз чунин мисолҳо фалокат дар нерӯгоҳи барқӣ-ҳастаии Чернобил мебошад.

Хӯрокҳои аз ҷиҳати генетикӣ тағйирёфта, ки дар рафҳои мағозаҳо торафт бештар фурӯхта мешаванд, метавонанд барои одамон хатарнок бошанд. Ҳамҷоя кардани техника ва дастовардҳои илмӣ ба равандҳои табиӣ яке аз вазифаҳои таъхирнопазири олимони асри нав мебошад. Танҳо бо роҳи ҳалли ин масъалаи ҷудо ҳам душвор, на танҳо зинда мондан, балки зиндагии шоистаи наслҳои ояндаро таъмин кардан мумкин аст.

Илмро одатан ҳамчун як фаъолияти баландихтисостарин дар истеҳсоли дониши объективӣ дар бораи ҷаҳон меҳисобанд, ки аз ҷумла худи инсон низ ба ин ҷо шомил аст. Аммо оё гузаронидани таҳқиқоти илмӣ, бигзор бениҳоят ҷолиб ҳам бошад, ки натиҷаи он барои инсон хатарнок аст, аз рӯи одоби илмӣ ва башарӣ аст?

Албатта, илм яке аз шаклҳои муҳими фарҳанги ҷомеа буда, рушди он омили муҳимтарини навсозии тамоми соҳаҳои ҳаёти инсон мебошад. Илми муосир ҷаҳонбинии инсонро ташаккул медиҳад, бо пешрафти техникӣ алоқамандии зич дорад, ба эҷоди пешгӯиҳои рушди ҷомеа ва таҳияи барномаҳо, ҳалли масъалаҳои дар назди инсоният

қарордошта кумак мекунад. Аммо оё илм ҳамеша барои инсоният бехатар аст? Бовар дорам, ки ин масъала то абад ҳалношуда боқӣ хоҳад монд.

Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ, Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон дар мулоқот бо зиёиёни кишвар дар санаи 18 марти 2020 қайд карданд, ки "халқи тоҷик асрҳои аср, ба илм, таълим ва тарбия таваҷҷӯҳи зиёде дошт ва дар тамоми таърихи инсоният шахсиятҳои маъруферо ба оламиён муаррифӣ намуд, ки дар рушди илми ҷаҳонӣ саҳми бузурге гузоштанд. Хусусан дар давраи давлатдории Сомониён, дар баробари адабиёт ва ҳунарҳо табиатшиносӣ низ рӯ ба рушд намуд, мероси олимони барҷастаи тоҷик бошад дар қарнҳои минбаъда ҳам шуҳрати ҷаҳонӣ пайдо намуданд".

Дарвоқеъ, дар ҷомеае, ки шумораи зиёди ашхоси оқил, босавод ва ҳамаҷониба рушдёфта мебошанд, кор, зиндагӣ ва мавҷудияти одамон намуди муносиби иҷтимоӣ ва ҷаззоб мегирад. Бешубҳа, одамони бофарҳанг ва бомаърифат шоёни иззату эҳтиром буда, диққати ҳамагонро ба худ ҷалб мекунанд.

Бояд гуфт, ки тоҷикон қадимтарин халқи ҷаҳон ҳастанд, онҳо бо таърихи бой ва мероси адабии худ шуҳрати ҷаҳонӣ пайдо кардаанд. Дар тӯли таърих садҳо намояндагони халқи тоҷик дар рушди илм, маърифат, фарҳанг ва маорифи ҷаҳонӣ саҳми сазовор гузошта, ба наслҳои худ мероси бойи дониш ва илмро боқӣ гузоштанд.

Пеш аз пошхӯрии ИҶШС, бӯҳрони иҷтимоию сиёсӣ ва иҷтимоию иқтисодӣ, ки дар робита бо рӯйдодҳои аввали солҳои 90-ум ба вуҷуд омадааст, илм дар Тоҷикистон дар сатҳи нисбатан баланд қарор дошт. Дар институтҳои Академияи илмҳо, дигар муассисаҳои илмӣ ва муассисаҳои таҳсилоти олии ҷумҳурӣ барои гузаронидани таҳқиқоти илмӣ заминаи пурқуввати моддию техникӣ ба вуҷуд оварда шуд, кадрҳои илмӣ дар бисёр соҳаҳои илм тарбия ёфта, муассисаҳои таҳсилоти олӣ ташаккул ёфтанд. Тадқиқот дар ҳамкорӣ бо институтҳои Академияи илмҳои ИҶШС ва дигар марказҳои илмӣ гузаронида шуд.

Пас аз ба даст овардани Истиқлолияти давлатӣ барои ҳифз ва дастгирии нерӯи илмӣ, ислоҳоти илм ва равона кардани илм ба ҳалли масъалаҳои муҳими рӯзмарраи ҷумҳурӣ корҳои зиёде ба анҷом расиданд.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ В МЕДИЦИНСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Шерматов Д.С.
Кафедра медицинской и биологической физики с основами информационных технологий ГОУ «ТГМУ имени Абуали ибни Сино», г.Душанбе, Республика Таджикистан
E-mail: erkin_sermatov@list.ru

Кафедра физики, ровесник ГОУ “Таджикский государственный медицинский университета имени Абуали ибни Сино” (1939 г.). Физика относится к достаточно старым наукам, которые возникли в результате изучения природы и Мира.

В первые годы организации студенты пользовались общим курсом физики и учебником, написанным профессором С. А. Арцыбышевым (зав. кафедрой физики I Московского медицинского института) [11].

Начались переработки курса физики для медвузов.
За этот период новый профилизированный курс претерпел ряд значительных изменений.

Одна из методических сложностей данного курса - это сочетание фундаментализации с профилизацией. В медицинском вузе наряду с фундаментальностью должен быть четкий «медицинский адрес», т. е. быть профилизированным. Профиль заключается в отборе материала и в иллюстрации возможных применений физики в медицине. Профилизация не только является мотивацией для студентов в изучении физики, но и необходима в связи с достаточно ограниченным объемом курса физики в мед.вузах. В этом одна из особенностей учебника.

Подобное руководство «Основы медицинской физики» было написано профессором СПБ военно-медицинской академии Н.Г. Егоровым в 1896 году [6]. Позже в 1954 году к.т.н., д.м.н. Н.М. Ливенцевым [7]. На основе программы нового курса в 1976 году А.Н. Ремизовым издан учебник по медицинской и биологической физике [4]. На кафедре физики ГОУ "Таджикский государственный медицинский университет имени Абуали ибни Сино" в 2008 году издан учебник по медицинской и биологической физике. На кафедре также продолжают работу над подготовкой, освоением и дальнейшим развитием нового курса физики, специализированного, с учётом запросов медицины и называемой «медицинской и биологической физики» [3]. В разные годы были изданы учебники [9-13] и интернет-ресурсы [15-16].

Возникает вопрос? Для чего нужны, студенту медику и врачу, эти знание, какова связь медицины с физикой и другими дисциплинами?

Медицине нужна физическая точность. Отсюда тесную взаимосвязь физики и медицины отмечали уже давно, к примеру, в середине XIX века немецкий учёный Герман Гельмгольц писал: «Заниматься физикой я мог, только взяв медицину в придачу». С тех пор связь наук ещё сильнее укрепилась.

Первым медицинским физиком был Леонардо да Винчи (пять столетий назад), который проводил исследования механики передвижения человеческого тела. Наиболее плодотворно медицина и физика стали взаимодействовать с конца XVIII – начала XIX вв., когда были открыты электричество и электромагнитные волны, т. е. с наступлением эры электричества. Надо отметить, раздел «Электричество» больше всего дал приборов и аппаратов в медицину для диагностики и лечения болезней.

Медицина и физика – это две области, постоянно окружающие нас в повседневности. Ежедневно влияние физики на развитие медицины только увеличивается, медицинская отрасль за счет этого модернизируется. Это приводит к тому, что многие болезни удается вылечить или остановить их распространение и контролировать.

Трудно представить, в какой ситуации сегодня находилась бы медицина, если бы не было новых открытий в области физики: рентген, ультразвук, лазерный луч, благодаря этим открытиям, появилось высокоэффективное медицинское оборудование, позволяющее внедрить передовые технологии диагностики и лечения.

Применение физики в медицине неоспоримо. Фактически каждый инструмент, используемый медиками, начиная со скальпеля и заканчивая сложнейшими аппаратами для установления точного диагноза, функционирует или изготовлен благодаря достижениям физики в мире.

Разработка и внедрение в клиническую практику высокотехнологичного оборудования, а также использование новейших технологий диагностики и лечения вызвали необходимость в подготовке специалистов, обладающих комплексными знаниями — по физике, компьютерным технологиям и медицине.

I. Физика помогает диагностике заболеваний:

1. В диагностике заболеваний широко применяются рентгеновские лучи для определения изменений в костях и мягких тканях;
2. Рентгенология - область медицины, изучающая применение рентгеновского излучения для исследования строения и функций органов и систем и диагностики заболеваний.
3. Радиодиагностика – метод меченных атомов. Основана на использовании радиоактивных изотопов. Например, для диагностики и лечения заболеваний щитовидной железы применяют радиоактивные изотопы йода.

II. Ультразвуковое обследование:

1. Исследование, когда высокочастотный звуковой луч прощупывает наш организм.

III. Использование лазера в медицине:

1. В хирургии с их помощью выполняются сложнейшие операции на мозге;
2. Лазер используют в онкологии (мощный лазерный пучок соответствующего диаметра уничтожает злокачественную опухоль);
3. В офтальмологической операции (мощными лазерными импульсами «приваривают» отслоившуюся сетчатку и выполняют другие операции).

IV. Плазменный скальпель:

1. Кровотечение – неприятная помеха при операциях, так как оно ухудшает обзор операционного поля и может привести к обескровливанию организма;
2. В помощь хирургу были созданы миниатюрные генераторы высокотемпературной плазмы;
3. Плазменный скальпель рассекает ткань, кости без крови. Раны после операции заживают быстрее.

Медицина и физика – это две области, постоянно окружающие нас в повседневности. Ежедневно влияние физики на развитие медицины только увеличивается, медицинская отрасль за счет этого модернизируется. Это приводит к тому, что многие болезни удается вылечить или остановить их распространение и контролировать и др.

Законы физики руководят всеми живыми процессами. Благодаря исследованиям в физике, человек смог достичь невероятных результатов в изучении определенных сфер, далеко продвинуться в освоении новых методов работы. Физика стала неотъемлемой частью жизни человека.

В медицине широко применяются приборы и аппараты, способные заменить на время органы человека. А также приборы для реабилитации после операций.

Принимая во внимание комплексный характер этого курса и значительные изменения, которые он претерпел в процессе своего развития, считаем целесообразным проанализировать эти вопросы также применительно к основным этапам формирования этого курса.

Таким образом, физика имеет определённые области соприкосновения с медициной, во-первых, это физические закономерности, лежащие в основе механизма многих физиологических явлений, а также действия на организм внешних физических факторов и, во-вторых, физические принципы, лежащие в основе устройства и действия приборов и аппаратов, применяемых в различных областях медицины.

Благодаря физике повысилась эффективность медицины, стало возможным лечение многих заболеваний человека. Основные задачи физики в медицине постоянное развитие и совершенствование. Если ранее выполнить операцию можно было только благодаря скальпелю то сегодня, с этой целью успешно применяется лазерный луч.

Инновационные технологии безоперационного вмешательства также стали возможными только благодаря применению результатов новых исследований в физике. Единственный негатив в этом вопросе обусловлен тем, что новые, более совершенные исследования и оборудование становятся все более затратными.

Не в каждой стране мира государство имеет возможность полноценно финансировать исследования в данной сфере. Во многих странах даже нет возможности обеспечить клиники самым простым оборудованием. Современные исследования физики направлены на повышение качества лечения больных, открытие новых способов и методов, изобретение нового медицинского оборудования.

Огромные научно-исследовательские центры в области медицины работают над тем, чтобы внедрить достижения физики в современной медицине. Это достигается путем многолетних экспериментов, исследований, испытаний. Современные исследования в области физики. Физика помогает не только развивать медицину.

Изучения в области физики позволяют: объяснить природные явления и процессы; выделить основные законы, по которым живет весь Мир. Сегодня такие законы можно назвать законами непреодолимой силы, так как человек не может на них повлиять. Изучить возможность применения законов физики в быту и деятельности человека.

Исследования в физике позволили «совершить революцию» во многих сферах деятельности человека. Открытия, совершенные в сфере изучения физики, позволили человеку повысить комфорт, уровень и продолжительность жизни. Исследования и открытия помогли спасти некоторые народы от эпидемий самых страшных заболеваний.

Благодаря физике человек смог обеспечить совершенно новое качество жизни. Возможно, совсем скоро, открытия, которые сегодня считаются просто невероятными, грандиозными, потеряют свое значение. Физика как наука постоянно развивается, а это значит, что следующие шаги в развитии человечества будут более решительными и принесут человечеству еще больше возможностей.

Таким образом, можно сделать вывод, что без изучения, анализа и преобразования накопленного опыта и знаний невозможно качественное образование.

Литература

1. А.Н. Волобуев. Курс Физики и биофизики. - М.: 2004.- 496 с.
2. А.Н.Ремизов. Медицинская и биологическая физика. - М.: «Дрофа», -2010. - 558 с. (и др. Издания).
3. В.Ф.Антонов, и др. Физика и биофизика курс лекции для медицинских Вузов. - М.: «ГЭОТАР-МЕДИА», 2008. - 480 с.
4. Д.С.Шерматов, К.К.Насыров. Лекции по медицинской и биологической физике. - Д.: ООО «Сармад и к», 2005. - 136 с.
5. Дж.Мэрион. Общая физика с биологическими примерами. - М.: «Высшая школа», 1986. - 623 с.
6. Егоров, Николай Григорьевич // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
7. Ливенцев Н.М. Курс физики (основы высшей математики, механика и молекулярные явления, колебания и акустика, электричество, магнетизм и оптика). Том 1. 6-е изд., доп. — Москва: Высшая школа, 1978. — 336 с.: ил.
8. М.В.Волькенштейн. Биофизика. - М.: «Наука», 1981. - 576 с.:
9. М.Е.Блохина, И.А.Эссаулова, Г.В.Мансурова. Руководства к лабораторным работам по мед. и биофизике.- М.: «Дрофа», 2004

10. Н.И.Губанов, А.А.Утепбергенов. Медицинская биофизика. –М.: «Медицина», 1978. - 336 с.
11. С. А. Арцыбышев. Курс физики, часть I (Механика и теплота). (Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия до физике для студентов физико-математических факультетов педагогических институтов.) Учпедгиз, 1951 г., стр. 659.
12. Физика стала неотъемлемой частью жизни человека. Применение физики в современной медицине можно изучить тут:
13. Ю.А.Владимиров, Д.И.Рощупкин, А.Я.Потапенко и др. Биофизика. - М.: «Медицина».1983. - 272 с.
14. Ю.А.Корнеев, А.П.Коршунов, В.И.Погадаев. Медицинская и биологическая физика. - М.: «Медицинская книга», Н.Новгород: из-во НГМА, 2001. - 248 с.
15. https://vistanews.ru/society/237227 © https://www.syl.ru/article/383272/fizika-v-meditsine-vliyanie-fiziki-na-razvitie-meditsinyi-izobreteniya-fizikov-ispolzuyuschiesya-v-meditsine

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА

Юлдашев З.Ш[1]., Юлдашев Р.З[2]., Хабибов А.Х[1].
[1]*Физико-технический институт имени С.У. Умарова НАНТ,*
[2]*Программа Развития ООН в Таджикистане*

Аннотация: Рассматриваются возможность использования источников возобновляемой энергии, как источник зеленой энергии, объединенные в энергокомплексы, для энергообеспечения энерготехнологических процессов в потребительской энергетической системе. Предложен инновационный вариант энергокомплекса, где возможно использовать четыре и более источников возобновляемой энергии, конструкция которого признан изобретением.

Ключевые слова: *энергокомплекс, возобновляемые источники энергии, зеленая энергия, энергоэффективность, энергоемкость*

На Генеральной Ассамблее ООН (20 декабря 1978 года) была принята **резолюция 33/148** по новым и возобновляемым источникам энергии. К ним относятся: энергия солнца, геотермальная энергия, энергия ветра, энергия света,энергия приливов и отливов, энергия волн и термального градиента моря, энергия преобразования биомассы, энергия, получаемая за счет сжигания топливной древесины, древесного угля, торфа, горючих сланцев, битуминозных песчаников, энергия использования тяглового скота и гидроэнергия.

Генеральная Ассамблея ООН (7 декабря 2012 года) приняла резолюцию об объявлении 2014-2024 годов **Десятилетием устойчивой энергетики для всех**, подчеркнув важность современных услуг в сфере экологически устойчивого энергоснабжения для ликвидации нищеты и развития в целом.

Зеленая энергия – это любой вид энергии, который вырабатывается из природных ресурсов, таких как солнечный свет, ветер или вода. В качестве источника энергии зеленая энергия часто исходит из технологий возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная энергия, биомасса и гидроэлектроэнергия.

Каждая из этих технологий работает по-разному, будь то получение энергии от солнца, как солнечные панели, или использование ветряных турбин или потока воды для выработки энергии [1].

Источники зеленой энергии обычно пополняются естественным образом, в отличие от источников ископаемого топлива, таких как природный газ или уголь, на восстановление которых могут уйти миллионы лет. Зеленые источники также часто избегают операций по добыче или бурению, которые могут нанести ущерб экосистемам.

Зеленая энергия важна для окружающей среды, поскольку она заменяет негативное воздействие ископаемого топлива более экологически чистыми альтернативами. Зеленая энергия, получаемая из природных ресурсов, также часто является возобновляемой и чистой, что означает, что они не выделяют парниковых газов или выделяют их в небольшом количестве и часто легкодоступны. Даже если принять во внимание полный жизненный цикл источников зеленой энергии, они выделяют гораздо меньше парниковых газов, чем ископаемое топливо, а также мало или низкие уровни загрязнителей воздуха. Это не только хорошо для планеты, но также лучше для здоровья людей и животных, которым приходится дышать воздухом.

Зеленая энергетика способна заменить ископаемое топливо в будущем, однако для достижения этой цели может потребоваться различное производство с использованием различных средств. Геотермальная энергия, например, особенно эффективна в тех местах, где этот ресурс легко использовать, в то время как энергия ветра или солнечная энергия могут лучше подходить для других географических мест.

Чтобы по-настоящему сравнить различные виды энергии, необходимо проанализировать полный жизненный цикл источника энергии. Это включает в себя оценку энергии, используемой для создания ресурса зеленой энергии, определение того, сколько энергии может быть преобразовано в электричество, и любую очистку окружающей среды, которая потребовалась для создания энергетического решения.

Зеленая энергия приносит реальную пользу окружающей среде, поскольку энергия поступает из природных ресурсов, таких как солнечный свет, ветер и вода. Эти постоянно пополняемые источники энергии являются прямой противоположностью неустойчивому ископаемому топливу с выбросом углерода, которое использовалось нами более века.

Создание энергии с нулевым углеродным следом – большой шаг к более экологически безопасному будущему. Если мы сможем использовать его для удовлетворения наших энергетических, промышленных и транспортных потребностей, мы сможем значительно снизить наше воздействие на окружающую среду.

Все указанные возобновляемые источники энергии (ВИЭ) могут использоваться либо моноэнергостанциях, использующих один вид оборудования (ветроэнергетические установки (ВЭУ) или фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), либо в составе комплексных установок, состоящих, как правило, вариативного набора нескольких ВИЭ в разных сочетаниях. В состав комплексных установок для гарантированного обеспечения энергией включают дизель-генератор.

Существуют комплексные установки: ветросолнечные, ветродизельные и дизель-ветросолнечные, использующие два или три ВИЭ. Таким образом, с учетом местных, региональных или территориальных возможностей гипотетически возможно повышение резервирования энергокомплексов до пяти - шестью и более видами оборудования.

Широкое использование комплексных установок энергоснабжения на основе ВИЭ может способствовать ускоренному решению задач для энергообеспечения

децентрализованных потребителей может сформировать новые подходы к развитию теории и практики возобновляемой энергетики, особенно в труднодоступных горных районах.

Возобновляемая энергетика: солнечная инсоляция, скорость ветра, скорость течения реки обладают стохастическими характеристиками. Большая часть рисков при использовании возобновляемой энергетики по причине стохастичности процессов являются основной проблемой для крупных энергопотребителей при решении вопроса внедрения и распространения ВИЭ [2].

Необходимость использования именно комплексных установок ВИЭ, а не монокомплексов ВИЭ с одним источником энергии, для Республики Таджикистан объясняется следующими факторами:

- ветер со средней скоростью 3 - 5 м/с на всей территории страны, обусловленный резко континентальным климатом и удаленностью республики от морей и океанов;
- децентрализованное расположение производственных мощностей и населения, а также экономическая нецелесообразность строительства или восстановления ветких протяженных линий электропередач;
- неравномерное распределение по территории республике горных рек, а также их сезонность (река полноводна в период весна – осень);
- зависимость производства электроэнергии от уровня воды в водохранилищах.

Одним из основных условий использования ВИЭ заключается в разработке системного (комплексного) подхода к выбору параметров энерготехнологических процессов выпускаемой продукции, повышения энергоэффективности их, т.е. снижение их энергоемкости, с целью снижения энергозатрат.

Российский лауреат Нобелевской премии Ж.И. Алфёров ещё в 2003 году подчеркнул, что будущее энергетики мира заключено в энергосбережении и достижениях в области солнечной и других возобновляемых источниках [2, 3].

Атомная энергетика после событий на АЭС Чернобыльской (1986 г.) и «Фукусима-1» в Японии (2011 г.) в очередной раз поставила под сомнение дальнейшего своего развития в мире. В то же время в мире солнечная, ветровая и другие ВИЭ имеют ежегодный прирост установленных мощностей от 10 до 40 %.

В связи с вышесказанным, для энергообеспечения многочисленных частных хозяйств, потребителей на удаленных горных децентрализованных территориях создания малых комплексных систем ВИЭ, мощностью от единиц киловатт до сотни кВт становится актуальным.

Мировой опыт освоения ресурсов возобновляемых источников энергии показывает, что использование только одного вида ВИЭ в системах энергоснабжения автономных потребителей не всегда позволяет обеспечить надежное и бесперебойное энергоснабжение из-за физических особенностей самих ВИЭ [4, 5].

Для энергообеспечения труднодоступных горных районов нами разработан энергокомплекс. На рисунке приведена структурная схема энергокомплекса для энергообеспечения энерготехнологических процессов, объединяющий ветроэнергетическую установку, солнечную батарею, микро-ГЭС и метантенк для питания биогазом двигателя внутреннего сгорания, приводящего во вращение генератора.

Количество используемых источников возобновляемой энергии на энергокомплексе может составляет 4 и более источника. Количество используемых источников возобновляемой энергии зависит от характеристик источника возобновляемой энергии (скорость ветра, длительность солнечной радиации и угол наклона лучей солнца к

горизонту, напор и расход потока воды и объема получаемого биогаза и др.) и потребляемой мощности ПЭС [6, 7].

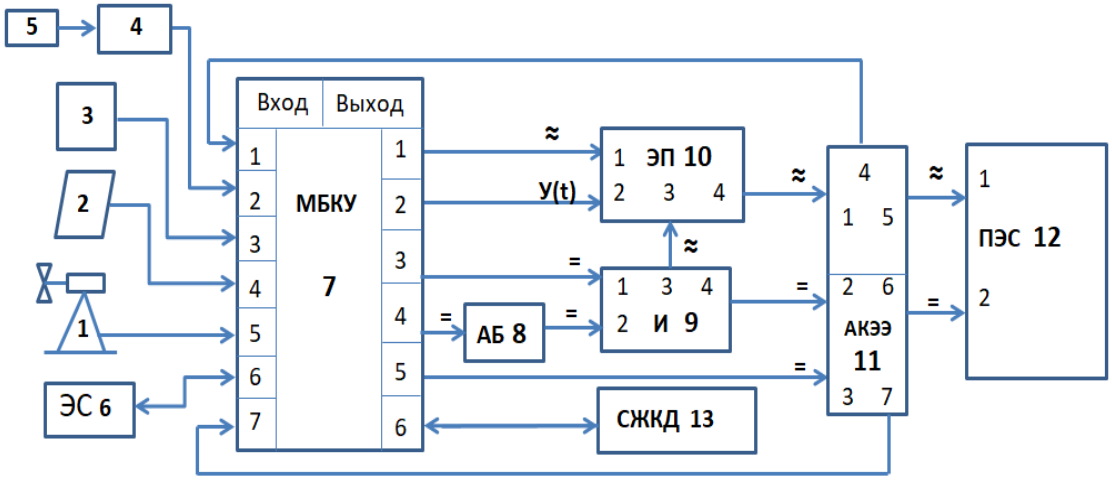


Рис. Энергокомплекс для энергообеспечения энерготехнологических процессов: 1 - ветроэнергетическая установка (ВЭУ); 2 - солнечная батарея (СБ); 3 - микро-ГЭС (МГЭС); 4 - дизельная электрическая станция (ДЭС) 5 - метантенк (МТ); 6 - электрические сети (ЭС); 7 - микропроцессорный блок контроля и управления (МБКУ); 8 - аккумуляторной батареи (АБ); 9 - инвертор (И); 10 - электронный переключатель (ЭП); 11 - анализатор качества электрической энергии (АКЭЭ); 12 - потребительская энергетическая система (ПЭС); 13 - сенсорный жидкокристаллический дисплей (СЖКД);

Энергия, вырабатываемая на ВЭУ, СБ, МГЭС и ДЭС (например, переменный ток и (или) постоянный ток) поступает на соответствующие входы МБКУ. При полном отсутствии энергии от источников возобновляемой энергии ЭС может быть единственным источником энергообеспечения для ПЭС. При превышении производства энергии над потребностью энергии в ПЭС МБКУ может передавать (возвращать) в ЭС 6 излишне выработанного количество энергии.

МБКУ, который выполнен одним из известных способов, преобразует переменный ток и (или) постоянный ток при помощи контроллеров на постоянный ток для зарядки АБ. При выработке постоянного тока превышающего тока зарядки АБ МБКУ на прямую подает постоянный ток на И, который преобразует на переменный ток. На И также поступает постоянный ток от АБ. При этом МБКУ может преобразовывать переменный ток и (или) постоянный ток на однофазный или трехфазный переменный ток промышленной частоты 50 Гц для питания ПЭС одним из известных способов. При снижении качества постоянного тока АКЭЭ подает сигнал на МБКУ. МБКУ с выхода 5 подает постоянный ток на прямую на вход 3 АКЭЭ, тем самым, обеспечивая ПЭС качественным постоянным током.

При снижении качества переменного тока, который поступает от ЭП через АКЭЭ на ПЭС, АКЭЭ вырабатывает сигнал, который с выхода 4 АКЭЭ поступает на вход 1 МБКУ.

Команда на управление y(t) ЭП поступает с выхода 2 МБКУ на вход 2 ЭП, который переключает переменный ток, поступающий, например, с выхода 1 МБКУ на вход 1 ЭП на переменный ток, поступающий с выхода 3 И на вход 3 ЭП, или наоборот, тем самым, выбирая источник с качественной энергией. Качество переменного тока характеризуется следующими параметрами, например, частота тока, колебание напряжения, форма синусоиды, например, для трехфазных цепей – фазировка и др. АКЭЭ может быть

выполнен, например, для контроля одного и более наиболее важных параметров переменного и постоянного тока.

Баланс мощности энергокомплекса и ПЭС может быть записан следующим образом:

$$Р_{ЭК} \geq Р_{ПЭС} = \sum_{i=1}^{n} Р_i, \quad (1)$$

где $Р_{ЭК}$- мощность энергокомплекса, кВт; $Р_{ПЭС}$- суммарная мощность ПЭС, кВт; $Р_i$ – мощность i-того потребителя ПЭС; n – количество потребителей энергии.

Аналогичным образом запишется баланс энергии энергокомплекса и ПЭС, и может быть записан следующим образом:

$$Э_{ЭК} \geq Э_{ПЭС} = \sum_{i=1}^{n} Э_i, \quad (2)$$

где $Э_{ЭК}$- энергия вырабатываемая энергокомплексом, МДж; $Э_{ПЭС}$- суммарная потребляемая энергия ПЭС, МДж; $Э_i$ - энергия, потребляемая i-ым потребителем ПЭС.

ПЭС состоит из энерготехнологических процессов, где происходит под действием энергии получение продукта с другими качественными показателями (консервный цех, цех по переработке продуктов растениеводства, животноводства и птицеводства, фермерских (дехканских) хозяйств, садоводство, пчеловодство, горные пастбища (стрижка овец, поение животных и другие), а также промышленные объекты [8].

ВЭУ, СБ, МГЭС и МТ являются устройствами, которые вырабатывают энергию на основе ВИЭ (ветер, солнце, речной поток и биомасса), имеющие случайный характер (например, солнечная энергия поступает только в светлое время суток). ДЭС работает на метане, который образуется в МТ.

При наличии одного или более вида возобновляемой энергии, а также ДЭС, который по отношению к другим источникам является запасным, электрическая энергия от них будет поступать в МБКУ.

На основе анализа количества выработанной и потребленной электрической энергии на соответствующем источнике возобновляемой энергии по показаниям на СЖКД 13 можно делать вывод об энергоэффективности (отношение количества выработанной энергии к теоретическому количества вырабатываемой энергии, например, за сутки, неделю) того или другого источника возобновляемой энергии и принять решение о замене неэффективного источника возобновляемой энергии (например, если энергоэффективность использования СБ выше энергоэффективности ВЭУ, то принимается решение об увеличении мощности СБ (увеличивается количество СБ) или наоборот).

Мощность каждых из этих источников энергии в зависимости от месторасположения ПЭС и её потребности в энергии могут иметь различные значения (например, от 1 до 500 кВт и более).

Выводы. Энергокомплекс для энергообеспечения энерготехнологических процессов, как источник зеленой энергии, рекомендуется использовать как автономный источник в труднодоступных горных районах, где отсутствует централизованное энергообеспечение. Для каждого региона состав источников возобновляемой энергии и комплектация энергокомплекса будут различны. Необходимо предусмотреть в ПЭС использования оборудования, потребляющие энергию с высокими энергоэффективными показателями (с низкими показателями энергоемкости выпускаемой продукции).

Литература

1. Юлдашев З.Ш., Юлдашев Р.З., Касобов Л.С., Киргизов А.К. Возобновляемые источники энергии как фактор устойчивого развития сельских территорий Республики

Таджикистан. -Вестник Таджикского технического университета. –Душанбе: ТТУ, 2014. -№2(26). -С.62-65.

2. Велькин В. И. Методология расчета комплексных систем ВИЭ для использования на автономных объектах: монография / В. И. Велькин. –Екате-ринбург: УрФУ, 2015. –226 с. ISBN 978-5-321-02460-7.

3. Карпов В.Н., Юлдашев З.Ш. Технологическая востребованность и техническое сопровождение увеличения потребления энергии в АПК. Монография. -СПб.: СПбГАУ, 2021. -168 с. ISBN 978-5-85983-359-7.

4. Юлдашев З.Ш. Повышение энергоэффективности в потребительских энергетических системах путем проведения энергетической экспертизы. -Вестник ТТУ. -Душанбе, 2013. -№3(23). -С. 47-51.

5. Юлдашев З.Ш., Камолов Т.М. Устойчивое развитие сельских территорий республики Таджикистан: использование возобновляемых источников энергии. -Вестник педагогического университета. -Душанбе: ТГПУ, 2013. -№3(52). -С.23-26.

6. Valery N. Karpov, Fedor D. Kosoukhov, Alexey P. Epifanov, Zarifjan Sh. Yuldashev and Vladislav V. Kolosovsky. Consumer Systems in Agricultural Economics: Focus on Energy Efficiency and Digital Technology / The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Volume 1. –Springer. – P.634-641. -2021.

7. Малый патент №TJ 1172 PT. МПК (2006) F 03 D 9/25. A 01 C 3/02. F 01 K 11/02. Энергетический комплекс для обеспечения энергией технологических процессов / Шокиров Ф.Ш., З. Ш. Юлдашев, Ботуров К., Юлдашев Р.З. -№2101497, заявл.12.01.2021. Бюл. №172, 2021.

8. Малый патент №TJ 1167 PT. МПК (2006) H 05 B 1/02. G 05 D 23/00. Устройство для определения эффективности использования энергии в энерготехнологических процессах / В.Н Карпов, З.Ш. Юлдашев, Р.З. Юлдашев, Т.М. Камолов, Ш.И. Мирзоев, Л.С. Касобов. -№2021498, заявл. 13.01.2021. Бюл. №172, 2021.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИНЖИНИРИНГУ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

[1]Юлдашев Р.З., [2]Юлдашев З.Ш.

[1]Программа Развития ООН в Таджикистане

[2]Физико-технический институт имени С.У. Умарова НАНТ,

Аннотация: *В статье рассматриваются вопросы рационального природопользования, энергоэффективности и энергосбережения, ориентированные на устойчивое развитие. Дается определение системы, изменение одной части которой, в конечном счете оказывает воздействие на функции других ее частей. Приведена терминология интегрального подхода как единого целого, примеры использования интегрального подхода к инжинирингу для устойчивого развития на примере мобильных автономных агрегатов при помощи расчетно-графического метода конечных отношений.*

Ключевые слова: *система, инжиниринг, устойчивое развитие, энергоэффективность, энергоемкость*

Принципы обеспечения устойчивого развития предполагает потребление природных ресурсов в объемах их способности к восстановлению. Поэтому такие приоритетные направления развития науки, технологий и техники, как рациональное

природопользование, энергоэффективность и энергосбережение, ориентированы именно на устойчивое развитие [1].

Наши ученые и инженеры должны уже на этапах проектирования современных технологий искать либо заменители природных ресурсов, либо возможности их регенерации и повторного использования. В целях исключения неблагоприятного воздействия на биосферу современные технологии не должны допускать выбросы загрязняющих веществ.

Обеспечение энергоэффективности и ресурсосбережения – одна из важнейших целей модернизации всех отраслей таджикской экономики.

Эта цель касается как крупных индустриальных и инфраструктурных объектов, так и объектов жилищно-коммунального хозяйства. Офисных зданий, торговых точек, транспортных средств и тд. Она касается как крупнейших корпораций, так и малого и среднего предпринимательства во всех отраслях экономики. Ограниченность ресурсов планеты не позволяет не обращать внимание на низкий КПД использования энергии, пресной воды, полезных ископаемых и ресурсов биосферы.

В работе [1] авторы на многих примерах показали, что совместная работа команды специалистов, обладающая междисциплинарными знаниями, может привести действительно к блестящим результатам. Отмечается, что как однобокое рассмотрение проблем приводит лишь к их обострению и усугублению. Авантюризм или плохо просчитанные волевые решения не допустимы там, где нужна методическая слаженная работа команды компетентных специалистов, направленная на обеспечение устойчивого развития. При этом, природа и условия проживания в глобальном мире оставили человечеству слишком мало прав на технические и экономические ошибки.

Новые инженерные подходы появляются вследствие возникновения новых проблем. В частности, недавний прорыв в новой области инжиниринга, получившей название «системный инжиниринг», связан с появлением потребности в реализации технически сложных проектов, в которых необходимо гарантировать соответствие друг другу всех частей системы.

Система – это открытая совокупность дополняющих друг друга и взаимодействующих друг с другом частей, обладающая свойствами, возможностями и состояниями, которые обуславливаются как самими этими частями, так и их взаимодействием. Следовательно, изменение одной части системы, в конечном счете, оказывает воздействие на функции других частей системы.

Интегральный (комплексный) подход – это процесс проектирования систем как единого целого, в ходе которого активно рассматриваются взаимодействия между подсистемами и системами и решения подыскиваются таким образом, чтобы одно и то же решение устраняло сразу несколько проблем (Таблица).

Таблица. Терминология интегрального подхода как единого целого

Английский термин	**Русский термин**	**Пояснение термина**
Design	Проектирование, технический проект	
Whole system design	Проектирование систем как единого целого, проектирование	Методология проектирования системы «в целом», при активном рассмотрении взаимодействия между компонентами системы и ее подсистемами, а также между

	«целостных» систем	системами в целях поиска технического решения, которое было бы решением сразу нескольких проблем
System engineering	Системный инжиниринг	Методология инжиниринга, обеспечивающая соответствие друг другу всех частей проектируемой или реализуемой системы (имеет особое значение при реализации технически сложных проектов)
Sustainable engineering	Инжиниринг по принципам устойчивого развития, инжиниринг, обеспечивающий устойчивое развитие	Проектирование и создание системы, при котором в период всего жизненного цикла системы: -природные ресурсы потребляются в пределах их способности к восстановлению, подыскиваются либо заменители природных ресурсов, либо возможности их вторичного использования; -исключается выделение опасных или загрязняющих веществ в биосферу сверх ее способности; -исключается вклад в необратимые неблагоприятные на экосистемы, биогеохимические и гидрологические циклы; -обеспечивается многофункциональность системы и/или многократность ее преимуществ: -обеспечивается экономическая эффективность системы
Sustainable development	Устойчивое развитие	Развитие, удовлетворяющее потребности настоящего поколения и не ставящее под угрозу возможности будущих поколений удовлетворять свои потребности.
Sustainable Design	Проектирование по принципам устойчивого развития;	Проектирование, которое включает в себя понятие экологичности, технологичности, направлено на ресурсосбережение и поддержание стабильности экосистем
Sustainability	Устойчивость, обеспечение устойчивости развития	Совокупность требований или характеристик, обеспечивающих сохранение природных ресурсов и окружающей среды, максимально возможную производительность, эффективность и функциональность объектов, обеспечение благоприятных условий для будущих поколений
lntegrated approach, whole system approach (to sustainable design)	Интегральный (комплексный) подход (к проектированию по принципам устойчивого развития)	Подход к проектированию и инжинирингу, при котором проектируемая или создаваемая система рассматривается «в целом», то есгь с учетом взаимодействия между компонентами системы и ее подсистемами, а также между системами
Need Defnition	Стадия «Определение проекта»	Начальная стадия процесса проектирования, в ходе которой делаются необходимые уточнения
Conceptual Design phase	Стадия «Концепция проекта и основные технические решения»	Вторая стадия процесса проектирования, в ходе которой производится концептуальная проработка проекта
Preliminary Design	Стадия «Предпроект, эскизный проект»	Третья стадия процесса проектирования, в ходе которой разрабатывается предварительная версия рабочего проекта
Detail Design phase	Стадия «Рабочий проект»	Заключительная стадия процесса проектирования, в ходе которой создается рабочий технический проект, проводятся его анализ и проверки

Системный инжиниринг – это процесс, в рамках которого инженеры для достижения какой-либо поставленной цели анализируют и оптимизируют в целом техническую систему, состоящую из нескольких компонентов, характерных атрибутов и их взаимоотношений. В терминах инжиниринга компоненты, атрибуты и взаимоотношения определяются следующим образом:

-компоненты – это рабочие части системы, имеющие вход и выход и выполняющие процесс преобразования входа в выход. Каждый компонент системы может характеризоваться разнообразными параметрами, влияющие на состояние системы посредством управляющих воздействий и ограничений;

-атрибуты – это свойство или видимые проявления компонентов системы. Атрибуты характеризуют систему;

- взаимоотношения – это связь между компонентами и атрибутами.

В рамках инжиниринга предназначение или цель системы должны быть явным образом определены и осмыслены таким образом, чтобы можно было выбрать состав компонентов системы, обеспечивающий желаемый результат ее работы. Целенаправленное действие, выполняемое системой, называется ее функцией. Обычно функции системы заключается в преобразовании и изменении материалов, энергии и/или информации. Системы, преобразующие материалы, энергию или информацию, состоят из структурных компонентов, рабочих компонентов и измеряемых компонентов. Структурные компоненты – это статические части системы, рабочие компоненты – это части, выполняющие процесс преобразования, а изменяемые компоненты – это преобразуемые материалы, энергия или информация. Вся система состоит из компонентов, и во всяком компоненте можно выделить более мелкие компоненты.

Для оптимизации системы в целом и достижения поставленной цели или решения задачи инженеры, занимающиеся системным инжинирингом, обычно работают в сотрудничестве с инженерами, специализирующимися в других традиционных инженерных дисциплинах. Системный инжиниринг играет роль интегратора всех инженерных областей, что позволяет достигать более значимых результатов (рисунок) [2].

Рисунок. Области применения системного инжиниринга

Рассмотрим простейший случай, когда шесть элементов связаны друг с другом последовательно, и каждый имеет КПД, равным 0,8. Если КПД каждого элемента повысить на 0,1, то получим:

$$\eta_{0,8} = 0,8*0,8*0,8*0,8*0,8*0,8=0,26214;$$

$$\eta_{0,9} = 0,9*0,9*0,9*0,9*0,9*0,9=0,53144.$$

Как видно, повышение КПД элемента на 0,1 приводит к повышению суммарного КПД шести элементов более чем в два раза. Применение методов проектирования систем

как единого целого улучшает производительность ресурсов более чем на 50%, на что раньше не обращали внимание. Также соответственно снижаются неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Энергосбережение, согласно Закону Республики Таджикистан Об энергосбережении и энергоэффективности от 29 августа 2013 года, №560,

- это рациональное использование и сокращение потерь в процессе производства, преобразования, транспортировки и потребления энергии;

- энергоэффективность - экономически обоснованное эффективное использование энергетических ресурсов с учётом степени развития существующей техники и технологии, с соблюдением потребностей защиты окружающей среды, достижение эффективного использования топливно-энергетических ресурсов;

Расчетный срок службы, например, электроприборов, строений и объектов инфраструктуры, обычно составляет 20...50 лет. Срок сдачи объекта строительства требует чтобы эти проекты более критически оценивались на эффективность и функциональность, чем делалось прежде. Ниже приведем выступление в новом здании Австралийского парламента, представитель Австралии в ООН Роберт Хилл описал ущерб от отказа учесть экологические аспекты на стадии проектирования следующим образом: “На противоположном берегу озера Берли Гриффин находится одно из самых знаменитых в Австралии сооружений – здание Парламента. Официально оно было открыто в 1988 году и обошлось налогоплательщикам в круглую сумму. Но уже начиная с 1989 года предпринимались усилия по снижению энегопотребления в здании Парламента, что привело к сокращению используемой энергии на 41%, а также к снижению выбросов парниковых газов более чем на 20 тыс. тонн в год” [3].

Другим примером использования интегрального подхода к инжинирингу для устойчивого развития являются работы [4, 5] руководителя научной школы «Эффективное использование энергии» профессора В.Н. Карпова, который предложил расчетно-графический метод конечных отношений (МКО). МКО позволяет определять энергоемкость каждого технического элемента и выпускаемой продукции потребительской энергетической системы (ПЭС).

До введения в ПЭС энерготехнологических процессов (ЭТП) определение энергоемкости продукции сводилось к формальному делению суммарного потребления энергии (как правило, за год) на объем выпущенной продукции. Режим потребления энергии (зависимость мощности P(t)) интересовал только поставщиков. Анализировались не потребительские свойства энергии, а можно сказать, товарные, искажение показателей которых приводило к конфликтному потреблению. В электротехнике яркими примерами нарушения режима потребления являются реактивная энергия и фазная несимметрия нагрузок, приводящие к увеличению потерь. Математический аппарат потребления ограничивается, в основном, интегрированием функции мощности. Появление современных точных и надежных счетчиков электрической энергии ослабило интерес к развитию анализа нагрузок и математического аппарата.

Выделение ПЭС, в основе, которой имеется совокупность технических элементов, в специальный вид технических систем - *действующих*, оправдано тем, что повышение энергоэффективности создает многофакторный эффект - энергетический, экономический и экологический (за счет уменьшения сжигания топлив), и является необходимым условием целесообразности поддержания надежности.

На основании изложенного сформулируем определение ПЭС: действующая техническая система, непрерывность действия и устойчивость развития которой зависит не только от работоспособности (прочности, надежности), но и от роста энергоэффективности, обеспечивающего конкурентоспособность продукции.

Наряду с этим недостаточно изучались и использовались потребительские свойства различных видов энергии, определяющие особенности ее действия на различные среды и объекты. Примеров ограниченности доступа к некоторым видам энергии для создания эффективных технологий в агропромышленном комплексе можно привести много. С этой точки зрения введение энерготехнологических процессов в ПЭС выводит потребительское энергосбережение на новый уровень синтеза ПЭС и исследований, который можно назвать выбором технологий для получения заданного технологией производства продукции результата (наряду с выбором оборудования) за счет энергетического действия. Такой уровень анализа позволяет сочетать решать задачу повышения энергоэффективности не только за счет потерь, но и с учетом качества теряемой энергии, то есть с быстрым использованием достижений научно-технического прогресса в энергетическом оборудовании для преобразования энергии.

Таджикистан до 2030 года должен превратиться из промышленно-аграрной в индустриальную страну. Индустриализация страны объявлена четвертой стратегической целью после энергетической независимости, вывода страны из транспортного тупика и обеспечения населения собственным продовольствием [6, 7].

Для достижения данной цели Правительством Республики Таджикистан все больше выделяется внимание на развитие науки и техники для реализации которых приняты ряд программ и стратегий такие как: «Программа развития точных наук в Республике Таджикистан на 2005-2008 годы», «Стратегия Республики Таджикистан в области науки и технологий на 2007-2015 годы», «Программа интеграции науки и высшего образования Республики Таджикистан на 2010-2015 годы», «Программа развития потенциала и интеллектуальной собственности человека на период до 2020 года», «Программа развития естественных, математико-технических наук на 2010-2020 годы», «Государственная программа по обеспечению общеобразовательных учреждений республики предметными кабинетами и оснащёнными учебными лабораториями на 2018-2020 годы».

С целью улучшения ситуации и укрепления интеллектуального потенциала общества указом Президента Республики Таджикистан 2020-2040 годы объявлены «Двадцатилетием изучения естественных, точных и математических наук в области науки и образования» (г. Душанбе, 31 января 2020 года, №1445), который направлен на укрепления процесса изучения естественных, точных и математических наук, а также развития технического мышления подрастающего поколения и молодежи.

С уверенностью можно сказать, что все вышеуказанные программы и стратегии не только существенно улучшили систему управления отраслью и связали отечественную науку с производством, но в целом будут способствовать дальнейшему развитию системы образования, применения новых энергосберегающих и ресурсосберегающих, и инновационных технологий, в нашей стране [8].

В связи с этим, необходимо сконцентрировать в проектных организациях высококвалифицированных специалистов и современные мировые инновационные технологии в области проектирования систем как единого целого для успешной решении задачи индустриализации страны.

Представляется на первом этапе на проектируемых и строящихся объектах рекомендуется руководствоваться интегральным подходом к инжинирингу для устойчивого развития. На втором этапе пересмотреть существующие действующие проекты, которые уже находятся в эксплуатации.

Заключение

Создание проекта, соответствующего принципам устойчивого развития, означает акцент на применении методов проектирования систем как единого целого для снижения энергоемкости выпускаемой продукции и первоочередного учета проблем защиты окружающей среды и социальных вопросов, наряду с экономическими аспектами.

Литература.

1. Стасинопулос, П. Проектирование систем как единого целого. Интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития / П. Стасинопулос и др. – М.: Эксмо, 2012. – 288 с.
2. Blanchard, B.S. and Fabricky, W.J. Systems Engineering and Analysis (fourth edition), Pearson Prentice Hall, UPPER Saddle River, NJ, Chapter 1 (2006).
3. Обращение федерального министра Австралии по охране окружающей среды и культурного наследия, почетного сенатора Роберта Хилла к Международному обществу экономистов-экологов, Канберра, 6 июля 2000 г. www.deh.gov.au/minister/env/2000/sp6ji100.html, на 19.10.2007.
4. Карпов В.Н., Юлдашев З.Ш., Немцев А.А., Немцев И.А. Управление энергетической эффективностью предприятия - это правильный выбор оборудования и действия энергии / -Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. -СПб.: СПбГАУ. 2016. - №45. - С.291-297.
5. Карпов В.Н., Юлдашев З. Ш. Энергосбережение. Метод конечных отношений: монография. СПб.: СПбГАУ, 2010.
6. Постановление Правительства Республики Таджикистан о Программе ускоренной индустриализации Республики Таджикистан на 2020-2025 годы. г. Душанбе, от 27 мая 2020 года, №293.
7. http://www.infoshos.ru/. Таджикистан взял курс на индустриализацию страны.
8. https://medt.tj/ru/. Сайт министерства экономического развития и торговли Республики Таджикистан.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ В СПИРТНО ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Арзикулов.Э.У., Салахитдинов Ф., Холмуродов Ф.*, Ташбоев М.
Самаркандский государственный университет
**Физико-технический институт им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана*
salofazlitdin0@gmail.com

Молекула воды одна из простейших молекул, которая состоит из трех атомов — двух атомов водорода и одного атома кислорода (рис. 1), однако структура и физические свойства обладают рядом особенностей.

Особенность колебательных спектров воды и водных растворов в том, что взаимодействия молекул в жидкости приводят к уширению полос в спектре, при этом для полосы валентных колебаний гидроксильных ОН-групп с частотой 3100…3700 см-1

наблюдается значительное перекрывание линий [1]. До сих пор не выяснены в полной мере механизмы формирования валентной полосы колебаний ОН-групп [2,.3].

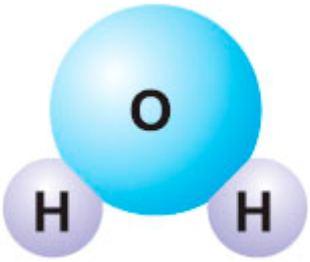


Рис. 1. Модель молекулы воды.

Несмотря на огромное количество работ [1-7], посвященных воде и водным системам, до сих пор нет единого взгляда на интерпретацию экспериментальных данных даже для чистой воды.

Это связано с тем, что наряду с межмолекулярными взаимодействиями, которые свойственны простым жидкостям, в воде и водных системах присутствуют водородные связи, приводящие к коллективным тепловым движениям и ассоциированным структурам. Последнее время растет интерес к водным растворам жидкостей с водородными связями. Иногда такие растворы называют смесями, поскольку в них не происходит диссоциация молекул. Такие растворы относятся к классу ассоциированных жидкостей и нередко рассматриваются как простейшие модели, в которых проявляются коллективные явления, подобные тем, которые можно наблюдать в более сложных системах, включая биологические [1].

В данной работе приводятся результаты исследования комбинационного рассеяния света (КРС) в спиртово-водных растворах при изменении концентрации спирта от 0 до 90% по массе, а также нескольких образцов воды: бидистиллята, водопроводной воды, воды артезианской в области частот 3000-3800 см$^{-1}$ где наблюдалась широкая колебательная полоса со сложной структурой. Полученные результаты хорошо согласуются с частотами в спектре КРС бидистилята, полученными другими авторами [2-5].

Спиртово-водные растворы представляют собой сложную систему, свойства которых нелинейно зависят от количественного соотношения компонентов. Растворы приготавливались из предварительно очищенного этилового спирта и воды.

Экспериментальная часть.

Спектры комбинационного рассеяния света спиртово-водных растворах и жидкой воды получены в классической 90º конфигурации с использованием поляризованного света и рассеянный свет регистрировались монохроматором МДР-23У.

В качестве источника возбуждения использовалось излучение лазера с диодной накачкой (DPSS) длиной волны 532 нм, мощность излучения P=50 мВт [6]. Блок- схема модернизированной установки приведена на рис 2.

Рассеянный свет анализируется с помощью монохроматора МДР-23У с использованием дифракционных решеток №2 (1200 штрихов на мм). Приемником для регистрации света служит ФЭУ-79, работающий в режиме счета фотонов.

Принцип работы установки.

Лазерный луч через фокусирующую линзу 2 попадает на образец 3, рассеянное излучение с помощью фокусирующей линзы 4 попадает на входную щель 5 монохроматора

МДР-23У. Поворотное зеркало 6 и зеркальный сферический объектив 7, в фокальной плоскости которого расположена входная щель, направляют параллельный пучок на дифракционную решетку 8. После дифракции параллельный пучок лучей фокусируется зеркально сферическим объективом 9 на поворотное зеркало 10 выходную щель, а затем на ФЭУ – 79. Сигнал с выхода ФЭУ последовательно подается на 13,14,15 и после чего на компьютер 16. При фиксированном положении решетки из сигнала КРС вырезается узкий участок спектра и при повороте дифракционной решетки происходит сканирование сигнала КРС по частоте. Проходящий через монохроматор рассеянный свет регистрируется ФЭУ-79, работающим в режиме счета фотонов. Электрический сигнал от ФЭУ поступает на усилитель импульсов и формирователь в систему счета импульсов и на компьютер.

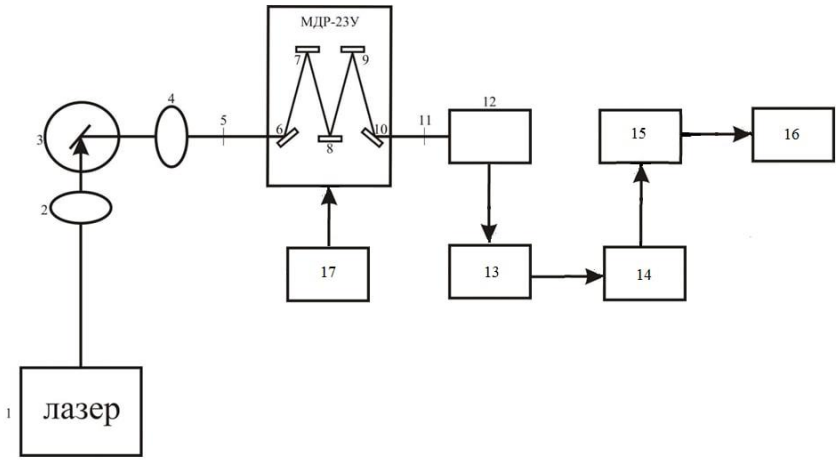


Рис 2. Блок схема экспериментальной установки: 1-лазер; 2, 4- фокусирующие линзы; 3-образец; 5, 11- щели монохроматора; 6, 10-поворотные зеркала; 7, 9- зеркала монохроматора; 12-ФЭУ; 13- усилитель-формирователь, 14- дискриминатор; 15- система счета импульсов ;16-компьютер.

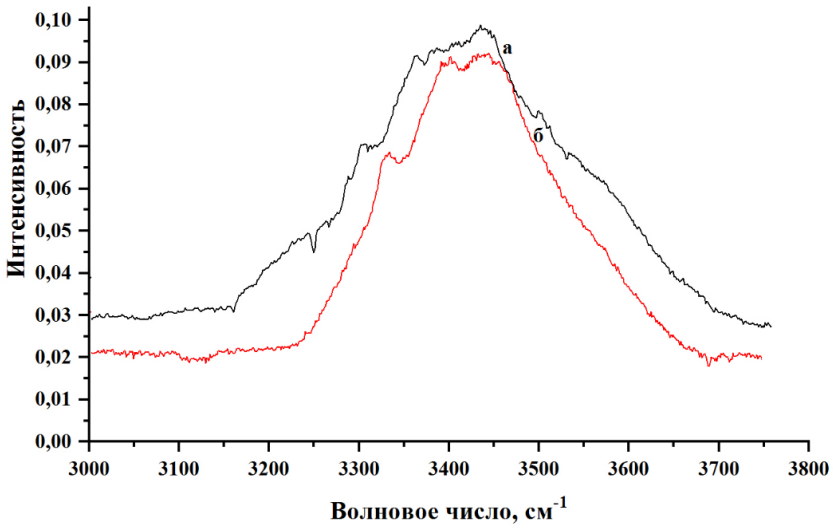


Рис 3. Спектр комбинационного рассеяния света для: а- бидистилята, б- минеральной воды “Сайхун”.

На рис. 3 приведены спектры комбинационного рассеяния света бидистилированной воды, минеральной воды “сайхун”.

Интересной особенностью в спектре КРС водопроводной воды является наличие большой полосы вторичного излучения. Сравнения полученные экспериментальными результатами с литературными данными даст нам доказательство о широкой полосе вторичного излучения. Это биологический субстрат спектров в воде [8-9]. На рис. 4 приведены спектр КРС вод из различных источников. Из спектров видно, что везде присутствует широкая полоса вторичного излучения.

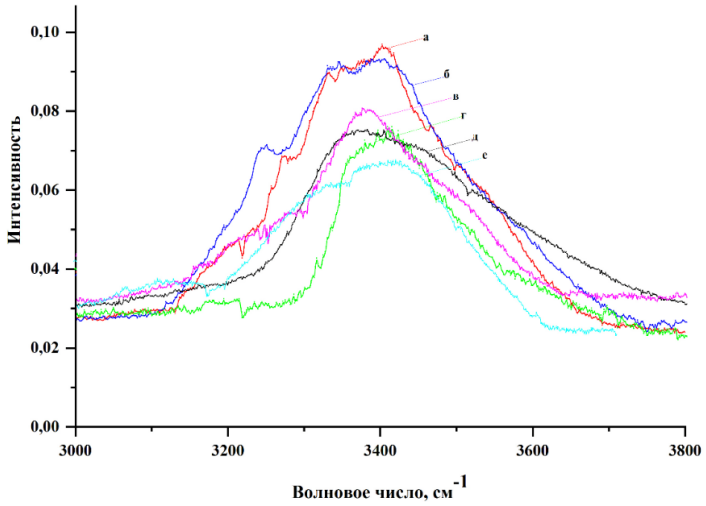


Рис. 4. а- минеральная вода; б- водопроводная вода города Самарканда; в- вода из чашмы Тошохур, г- дистиллированная вода; д- артизанская вода; е- вода из чашмы Бахрин Ургутского района Самаркандской области.

Из сравнения спектров различных источников видно, что широкая люминесцентная полоса присуствуют везде (см.рис 4).

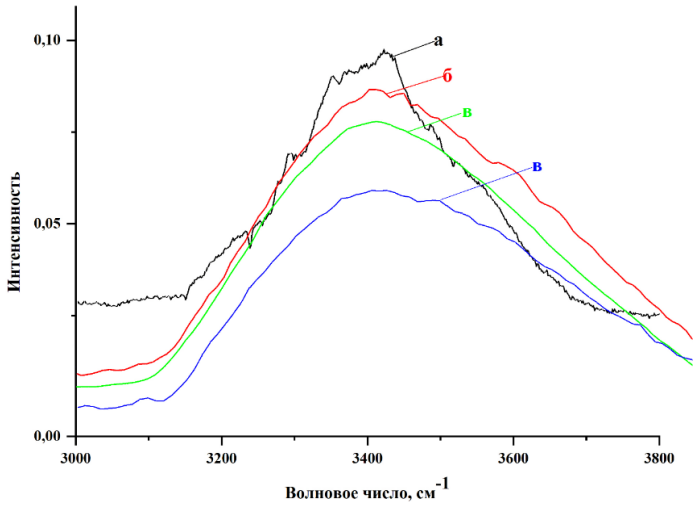


Рис. 5. Температурные зависимости ОН колебаний воды: а-30°, б-40°, в-60°, г-80° С.

На рис 5, приведена температурная зависимость формы неполяризованной полосы комбинационного рассеяния ОН колебаний воды из которого видно, что с повышением температуры полоса остается широкой, но её низкочастотная составляющая уменьшается по интенсивности по сравнению с высокочастотной. Следует отметит, что параметры полосы очень чувствительны к изменению температуры и приводит к выводу, что полоса с максимумом около 3450 см-1 является составной, т.е. состоит из двух близких линий,

изменение относительной интенсивности которых приводит к сдвигу максимума огибающей валентной полосы с изменением температуры воды.

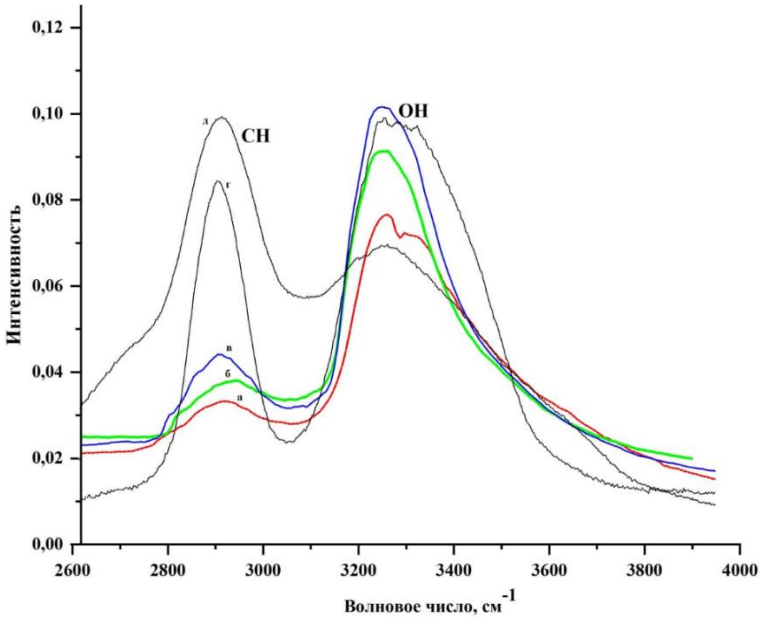


Рис. 6. Спектров КР света в спиртово-водных растворах для концентраций этанола, а- 30%-70%, б-40%-60%, в-44%-66%, г-70%-30%, д-96%-4%.

Спектр комбинационного рассеяния спиртное-водных растворов в области валентных колебаний содержит полосы валентных колебаний СН-групп, расположенных в диапазоне 2650…3050 см-1 в полосу валентных колебаний гидроксильных ОН групп (как воды, так и спирта), которая находится в диапазоне 3000…3700см-1 в колебательных спектрах

Концентрационные зависимости частоты максимумов спектральных компонентов (см. рис. 6) показывают практически постоянное положение главных полос для каждого типа спектра, практически не меняющееся при увеличении концентрации этанола в растворе. Находясь в рамках представления о том, что частота колебаний ОН-группы однозначно связана с силой водородной связи этой группы с соседними молекулами. Из поведения положений максимумов полос можно заключить, что изменение концентрации спирта в растворе не приводит к существенному изменению типов молекул (разделение по энергии водородной связи), а происходит лишь количественное перераспределение доли молекул, относящихся к той или иной группе. Таким образом, из рисунка 6 видно, что увеличение концентрации этанола не приводит к образованию новых структурных группировок молекул воды или молекул воды с этанолом.

Литература

1. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1975, 230 с.
2. Наберухин Ю.И. Загадки воды. Соросовский образовательный журнал. 1996. № 5. с. 41-48.
3. Буруков С.А., Доленко Т.А., Карпов Д.М. Вклад резонанса Ферми в формирование валентной полосы спектра комбинационного рассеяния воды. Оптика и спектроскопия, 2010, т. 109, № 2, с.306-312.
4. Outline of Methods for Investigating Water Structure / Water Structure and Behavior. Http
5. Molecular Vibration and Absorption. http://www.isbu.ac.uk/water/8. Roll F. Structural Investigation of Water and Aqueous Solutions by Raman Spectroscopy // Pure. Appl. Chem. 2002. V. 74, No. 10. P. 1859Ä1870.

6. Becucci M. et al. Accuracy of Remote Sensing of Water Temperature by Raman Spectroscopy //Appl. Optics. 1999. V. 38, No. 6. P. 928Ä931.
7. Ефимов Ю.Я. Асимметрия молекул Н2О в жидкой фазе и ее следствия. Журнал структурной химии. 2001, т. 42, № 6, с.1122-1132.
8. Drozdowska V., Babichenko S. Natural Water Fluorescence Characteristics Based on Lidar Investigations of a Surface Water Layer Polluted by an Oil Film; the Baltic Cruise Å May 2000 //Oceanology. 2002. V. 44, No. 3. P. 339Ä354.
9. Буриков С.А., Доленко Т.А., Пацаева С.В., Южаков В.И. Диагностика водно- этанольных растворов методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Оптика атмосферы и океана. 2009, т.22, №11, с.1082-1088.

УСУЛИ ФАРҚИИ ҲАЛЛИ МАСЪАЛАҲОИ ФИЗИКАИ МАТЕМАТИКӢ

Ф.Шокир, Э. Оқилов
Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
eminjon_97@mail.ru

Миқдори назарраси масъалаҳои физикаю техникаро тариқи муодилаҳои дифференсиалии хаттӣ ва ғайрихаттӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ шарҳ додан мумкин аст. Дар ин самт яке аз усулҳои самаранок ва универсалии ҳалли масъалаҳои физикаи математикӣ методи фарқиятҳои охирнок ё методи торҳо мебошад, ки имкон медиҳанд ҳалли муодилаҳо бо ҳосилаҳои хусусӣ тариқи ҳалли системаҳои муодилаҳои алгебравӣ бо саҳеҳияти баланд таҳқиқ карда шаванд. Методи мазкур потенсиали бениҳоят бузург дошта, имконият медиҳад, ки дилхоҳ муодилаҳои физикаи математикӣ, новобаста аз он, ки ҳалли аналитикии онҳо ифшо шудааст ё не, бо саҳеҳияти баланд таҳқиқ карда шавад. Яъне методи фарқиятҳои охирнок барои табдили масъалаи дифференсиалӣ ба системаи охирноки муодилаҳои алгебрӣ истифода мешавад, ки ҳалли онҳо дар протсессорҳои ҳисоббарор имконпазир аст.

Дар таҳқиқоти мазкур роҳҳои татбиқи методи мазкур дар масъалаҳои муайяни физикаи математикӣ оварда шудаанд. Дар ин маврид пеш аз ҳама он нақшаҳои фарқӣ ба назар гирифта мешаванд, ки татбиқи бевосита доранд, яъне барои ҳалли масъалаҳои мушаххаси амалӣ дар мошинҳои ҳисоббарор мувофиқанд. Инҳо нақшаҳои якҷинса мебошанд, ки дар ҳама гуна торҳои имконпазир устуворанд ва барои ҳалли синфҳои масъалаҳо бо истифода аз як алгоритми ҳисоббарор мувофиқ мебошанд. Одатан, дар навбати аввал татбиқи нақшаҳои нисбатан оддӣ барои муодилаҳои дараҷаи дуюм дида баромада мешаванд, ки дар он алгоритми якченаи иҷроиш истифода мешавад. Қайд менамоем, ки ин амал барои системаҳои муодилаҳои алгебрӣ бо матритсаи тридиагоналӣ мувофиқ аст [1].

Ёдрас менамоем, ки дар назарияи методи фарқиятҳои охирнок, одатан фарз карда мешавад, ки ҳалли масъалаи ибтидоӣ барои муодилаи дифференсиалӣ мавҷуд аст ва дорои миқдори кофии ҳосилаҳо мебошад, ки тартиби максималии аппроксиматсияро таъмин мекунад.

Барои навиштани нақшаҳои фарқӣ майдони тағйирёбии доимии аргументро бо майдони тағйирёбии дискретии он иваз намуда, оператори дифференсиалиро бо оператори муайяни фарқият иваз мекунем. Ҳамчунин барои шартҳои канорӣ ва ибтидоӣ низ нақшаҳои фарқӣ тартиб медиҳем [1-3].

Татбиқи методи фарқиятҳои охирнокро дар мисоли σ-модели ғайрихаттӣ, ки як синфи системаҳои квантӣ-майдонӣ мебошад дида мебароем. Чӣ тавре, ки маълум аст дар

модели мазкур майдонҳо ҳамчун координатаҳои бисёршаклаи муайян тавсиф мешаванд. Сохтори геометрии σ-модели ғайрихаттӣ дар робитаи амиқи байни суперсимметрияи васеъ ва геометрияи мураккаби дифференсиалӣ зоҳир мешавад. Дар ибтидои ташаккули худ назарияи σ-модели ғайрихаттӣ дар кӯшиши тавсифи таъсири мутақобилаи мултиплети пионҳо (π-мезонҳо) истифода мешуд, аммо дар айни замон σ–моделҳои ғайрихаттӣ ҳам дар физикаи ҳолатҳои конденсӣ ва ҳам дар назарияи майдонҳо татбиқи васеъ пайдо намуда, таҳқиқоти онҳо гуногунсоҳа мебошад.

Зичии функсияи Лагранж ва Гамилтониани σ–модели ғайрихаттӣ дар чаҳорчубаи гурӯҳи гардишҳо ва инъикосҳои O(3) дар параметризатсияи стандартӣ (изоспинӣ) дар ҳолати анизотропии дучена шакли зерин доранд [4-6]:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}\left[\partial_\mu s_a \partial^\mu s_a + (s_3^2 - 1)\right]$$
$$\mathcal{H} = \frac{1}{2}\left[(\partial_0 s_a)^2 + (\partial_1 s_a)^2 + (\partial_2 s_a)^2 + (1 - s_3^2)\right]$$
$$\mu = 0, 1, 2;\ a = 1, 2, 3;\ s_a s_a = 1. \tag{1}$$

Муодилаи Лагранж-Эйлерро барои (1) бо назардошти $s_a s_a = 1$ ба таври зерин ифода намудан мумкин аст:

$$\partial_\mu \partial^\mu s_i + \left(\partial_\mu s_a \partial^\mu s_a\right) s_i - s_3(\delta_{i3} - s_i s_3) = 0, \tag{2}$$
$$i = 1, 2, 3, \qquad a = 1, 2, 3,$$

ки дар инҷо δ – рамзи Кронекер аст.

Барои муодилаи (2) методи фарқиятҳои охирнокро татбиқ намуда нақшаҳои фарқии секабатаро (Расми 1) барои функсияи комплексии z

$$z(x,t) = \frac{s_1 + is_2}{1 \pm s_3} = \mathrm{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right) e^{i\varphi},$$

$$z = a + ib,$$

ба таври зерин навиштан мумкин аст [6]:

$$\begin{aligned}
a_{\tau+} = \Bigg[\Bigg[&(1 + a^2 + b^2)\left(\frac{2a - a_{\tau-}}{\tau^2} + \frac{a_{x+h} - 2a + a_{x-h}}{h^2}\right) - \\
&- \frac{a}{2h^2}\left((a_{x+h} - a_{x-h})^2 - (b_{x+h} - b_{x-h})^2\right) - \\
&- \frac{b}{h^2}(a_{x+h} - a_{x-h})(b_{x+h} - b_{x-h}) + (a^2 + b^2 - 1)a + \\
&+ G\frac{a - a_{\tau-}}{2\tau} + \frac{1}{\tau^2}\left((b - b_{\tau-})(ab_{\tau-} - a_{\tau-}b) - (a - a_{\tau-})(aa_{\tau-} + bb_{\tau-})\right)\Bigg] \times \\
&\times (1 + aa_{\tau-} + bb_{\tau-}) - \Bigg[(1 + a^2 + b^2)\left(\frac{2b - b_{\tau-}}{\tau^2} + \frac{b_{x+h} - 2b + b_{x-h}}{h^2}\right) - \\
&- \frac{a}{h^2}(a_{x+h} - a_{x-h})(b_{x+h} - b_{x-h}) + \frac{b}{2h^2}\left((a_{x+h} - a_{x-h})^2 - \right. \\
&\left. - (b_{x+h} - b_{x-h})^2\right) + (a^2 + b^2 - 1)b + G\frac{b - b_{\tau-}}{2\tau} + \\
&+ \frac{1}{\tau^2}\left((a - a_{\tau-})(a_{\tau-}b - ab_{\tau-}) - (b - b_{\tau-})(bb_{\tau-} + aa_{\tau-})\right)\Bigg] \times
\end{aligned} \tag{3}$$

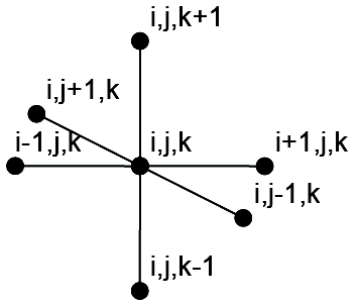
$$\times (a_{\tau-}b - ab_{\tau-})\Bigg]\frac{\tau^2}{(1 + aa_{\tau-} + bb_{\tau-})^2 + (a_{\tau-}b - ab_{\tau-})^2},$$

$$b_{\tau+} = \Bigg[\Bigg[(1 + a^2 + b^2)\left(\frac{2b - b_{\tau-}}{\tau^2} + \frac{b_{x+h} - 2b + b_{x-h}}{h^2}\right) -$$
$$-\frac{a}{h^2}\big((a_{x+h} - a_{x-h})(b_{x+h} - b_{x-h})\big) + \frac{b}{2h^2}((a_{x+h} - a_{x-h})^2 -$$
$$-(b_{x+h} - b_{x-h})^2) + (a^2 + b^2 - 1)b + G\frac{b - b_{\tau-}}{2\tau} +$$
$$+\frac{1}{\tau^2}\big((a - a_{\tau-})(a_{\tau-}b - ab_{\tau-}) - (b - b_{\tau-})(bb_{\tau-} + aa_{\tau-})\big)\Bigg] \times$$
$$\times (1 + aa_{\tau-} + bb_{\tau-}) - \Bigg[(1 + a^2 + b^2)\left(\frac{2a - a_{\tau-}}{\tau^2} + \frac{a_{x+h} - 2a + a_{x-h}}{h^2}\right) -$$
$$-\frac{a}{2h^2}((a_{x+h} - a_{x-h})^2 - (b_{x+h} - b_{x-h})^2) - \frac{b}{h^2}\big((a_{x+h} - a_{x-h}) \times \tag{4}$$
$$\times (b_{x+h} - b_{x-h})\big) + (a^2 + b^2 - 1)a + G\frac{a - a_{\tau-}}{2\tau} +$$
$$+\frac{1}{\tau^2}\big((b - b_{\tau-})(ab_{\tau-} - a_{\tau-}b) - (a - a_{\tau-})(aa_{\tau-} + bb_{\tau-})\big)\Bigg] \times$$
$$\times (a_{\tau-}b - ab_{\tau-})\Bigg]\frac{\tau^2}{(1 + aa_{\tau-} + bb_{\tau-})^2 + (a_{\tau-}b - ab_{\tau-})^2}.$$

Дар ин ҷо қисми ҳақиқӣ $a = a(x,t)$, $a_{\tau\pm} = a(x, t \pm \tau)$, $a_{x\pm h} = a(x \pm h, t)$, ҳамчунин барои қисми мавҳум b, $b_{\tau\pm}$, $b_{x\pm h}$.

Шартҳои зарурӣ ва кифоягии устувории нақшаҳои (3) ва (4) бо риояи меъёри Курант таъмин карда мешаванд [7]:

$$\tau \le \frac{h}{a}$$
$$\tau = 6 \cdot 10^{-3},\ h = 10^{-2}.$$

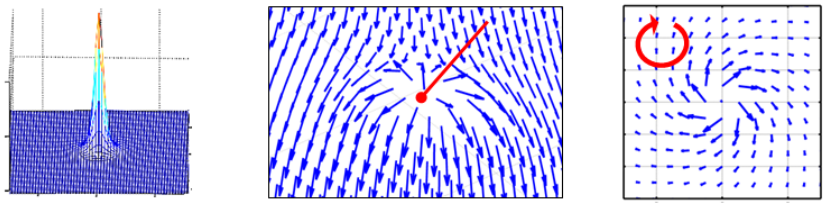


Расми 1. Сохтори ҳисоби нақшаи фарқии сеқабата

Дар асоси нақшаҳои коркардшуда бо истифодабарии махсуси хосиятҳои проексияи стереографӣ дар фазои қабатнок тавассути барномасозии компютерӣ моделҳои ададии таҳаввули ҳалҳои топологии дученаи локалишудаи муодилаи (2)

$$\theta(r, R) = 2\mathrm{arctg}\left(\frac{r}{R}\right)^{Q_t}, \qquad \varphi = Q_t\chi - \omega\tau, \tag{5}$$
$$r^2 = x^2 + y^2, \cos\chi = \frac{x}{r}, \qquad \sin\chi = \frac{y}{r},$$

ҳосил карда шуданд (Расми 2). Моделҳои ҳосилшуда як қатор қонуниятҳо ва хосиятҳои нави квазинанозарраҳоро (5) ифшо намуданд [6].



Расми 2. Ҳалли топологии муодилаи (2) дар ҳолати $Q_t = 1$: зичии энергия (DH); шакли изоспинӣ дар фазои се (3D) ва дучена (2D)

Ҳамин тавр методи фарқиятҳои охирнокро ҳамчун муодилаҳои операторӣ ё операторӣ-фарқӣ бо операторҳои хатии аз параметри h (қадами тор) вобаста, ки дар фазои нормиронидашудаи хаттии абстрактии андозаи дилхоҳ дода шудаанд, шарҳ додан мумкин аст. Масъалаи асосии назарияи методи фарқиятҳои охирнок устуворӣ мебошад. Аз ин рӯ, таваҷҷӯҳи асосӣ дар раванди коркарди алгоритм ва ҳалли масъалаҳои амалӣ ба устувории нақшаҳои фарқӣ дар фазои гилбертӣ дода шудааст. Дар маводи мазкур шартҳои кифоягӣ муайян шуда, устувории нақшаҳои секабата арзёбӣ шудаанд.

Адабиёт

1. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971. 553 с.
2. Калиткин Н.Н. Численные методы. Под ред. Самарского А.А. М.: Наука, 1978. 512 с.
3. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М.: Мир, 1972. 420 с.
4. Gell-Mann M., Levy M. The axial vector current in beta decay // Nuovo Cimento. 1960. V. XVI, N. 4. P. 705–726.
5. Muminov Kh.Kh., Shokirov F.Sh.. Dynamics of two-dimensional breathers in O(3) vectorial nonlinear sigma-model // The Book of abstracts of the International Conference Mathematical modeling and computational physics. – Russia, Dubna, 2013. P. 134.
6. Муминов Х.Х., Шокиров Ф.Ш. Математическое моделирование нелинейных динамических систем квантовой теории поля. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 375 с.
7. Гулин А.В. Необходимые и достаточные условия устойчивости трехслойных разностных схем // ЖВМ и МФ. 1968. Т. 8, № 4. С. 899–902.

ЭКСПЕРИМЕНТИ ПОМИР: ТАЪРИХИ 50 СОЛА ВА ДУРНАМОИ ОН

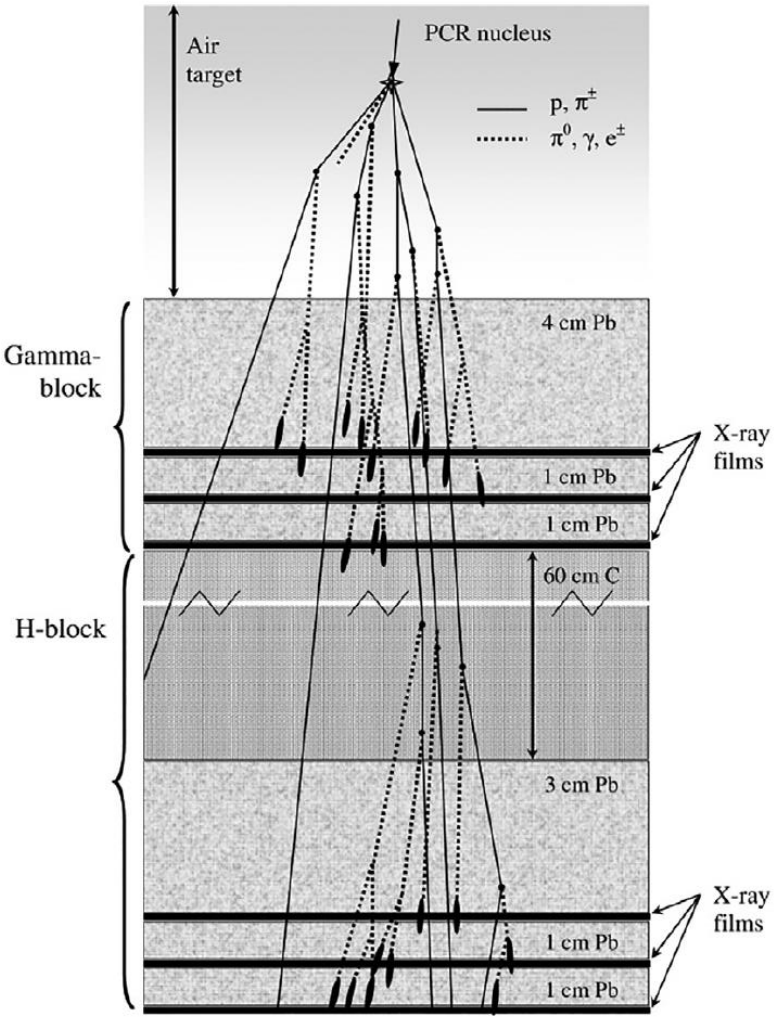
И. Бобоҷонов, Р. Баҳромзод, А. Муқумов, Қ.Азизшоев

Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови АМИТ

Email: rbd-tnu@mail.ru

Эксперименти Помир яке аз саҳифаҳои заррини илми тоҷик ба ҳисоб меравад, зеро аз рӯи миқёси таҳқиқот, шароити омӯзиш, муҳимияти илмӣ, замонавӣ будан ва иштироки олимони кишварҳои гуногун беназир аст. Расо 50 сол муқаддам, бо мактуби муовини директори Инстиути физикаи ба номи Лебедеви АИ ИҶШС А. И. Исаков ба президенти АИ ҶШС Тоҷикистон М. Осимӣ (мактуби №112-445 кл-408 аз 15-уми январи 1971) таҳқиқоти якҷояи эмулсионии Институти физикаи ба номи Лебедев ва Институти физикаю техникаи ба

номи С. Умаров оғоз гардид. Дар ин мактуб пешниҳод карда шуда буд, ки байни экспедитсияи муштараки олимони институтҳои номбурда ба кӯҳҳои Помир ташкил карда шавад. Дар мактуб ҷавобӣ М. Осимӣ (мактуби №1/515 аз 18.03.1971) пешниҳодро қабул намуда, мудири лабораторияи физикаи ҳастаии ИФТ ба номи С. Умаров Ином Бобоҷоновро масъул таъин мекунанд [1].

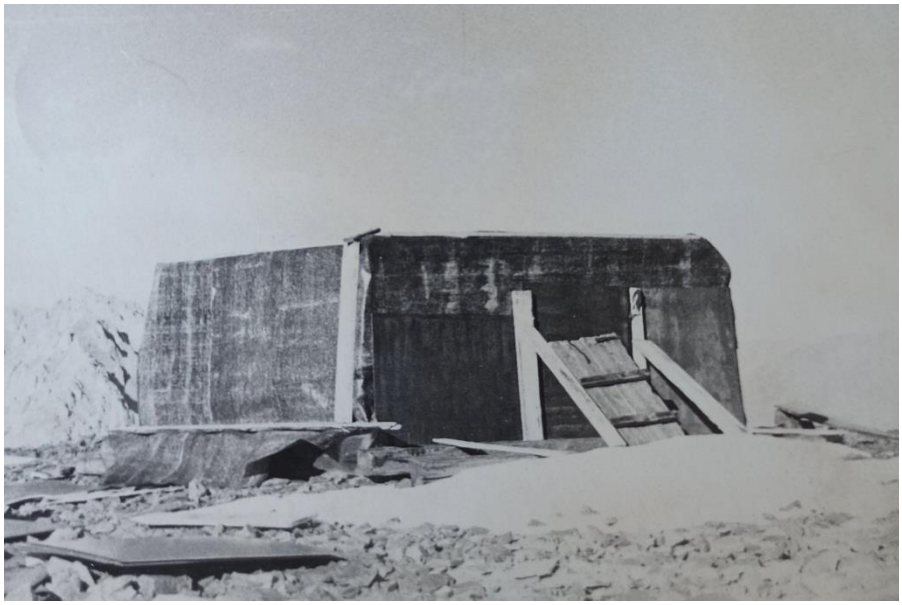


Расми 1. Нақшаи ҷойгиршавии қабатҳои дастгоҳи рентгениву эмулсионии Помир

Маҳз соли 1971 минтақаи Ак-Архар ҳамчун макони гузаронидани таҷрибаҳо интихоб ва дар он намунаи дастгоҳои рентгениву эмулсиони РЭК-20 м^2 насб карда мешавад. Ин дастгоҳ нишон дод, ки минтақа ва баландии интихобшуда барои гузаронидани таҷрибаҳои минбаъда мувофиқ аст. Дар мактуби директор Институти физикаи ба номи Лебедев академик Д. И. Скобелтсин таҳти рақами №112-634-6772 аз 21/22 октябри 1971 ба Президенти АИ ҶШС Тоҷикистон М. Осимӣ бармеояд, ки “Бе иштироки лабораторияи физикаи ҳастаии ИФТ ба номи С. Умаров амалӣ кардани ин лоиҳа ғайримкон буд”[2].

Кумитаи давлатии Шӯрои Вазирони ИҶШС доир ба илм ва техника 11 майи 1973 таҳти рақами №154 лоиҳаи Эксперименти “Помир”-ро тасдиқ кард, ки мувофиқи он бояд дар баландии 4370 м аз сатҳи баҳр дастгоҳи рентгениву эмулсионӣ бо масоҳати 1000 м^2 сохта насб карда мешуд. Дар марҳилаи аввал масоҳати дастгоҳ 400 м^2 (1973), дар марҳилаи дуввум 600 м^2 (1974) ва дар марҳилаи ниҳои то 1000 м^2 (1975) расонида шуд, ки аз блоки

адронӣ ва Г-блок таркиб ёфта буд (Расми 1). Дар баробари ин дар баландии 4880 м дастгоҳи дигаре бо масоҳати 15 м^2 насб карда шуд (Расми 2). Вале аз сабаби мушкил будани бурдани сурб ва дигар таҷҳизоти озмоишӣ ба ин баландӣ масоҳати он зиёд карда нашуд.



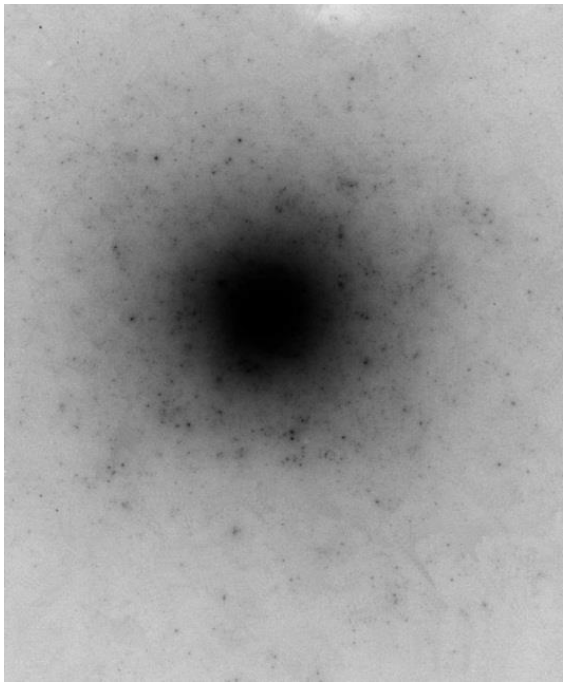
Расми 2. Дастгоҳи рентгениву эмулсионӣ бо масоҳати 15 м^2 дар баландии 4880 м аз сатҳи баҳр дар ағбаи Ақ-Архар

Таҳқиқоти ба ин монанд аз тарафи олимони ҷопонӣ ва бразилиягӣ дар кӯҳи Чақалтаяи Боливия (баландии 5200 м), аз ҷониби олимони донишгоҳҳои ҷопонӣ дар кӯҳи Фудзима (баландии 3750 м) ва олимони чинӣ дар кӯҳи Камбала (баландии 5500 м) гузаронида мешуд. Барои ҳамоҳанг сохтани ин таҳқиқот дар кишварҳои гуногун соли 1980 дар шаҳри Находка Симпозиуми аввалини Шӯравӣ ва Ҷопон гузаронида шуд, ки дар он намояндагони таҷрибаҳои дар боло зикршуда масъалаи ҳамкориро баррасӣ намуданд ва натиҷаи кори онҳо мақолаҳои муҳими муштарак гардид[3,4].

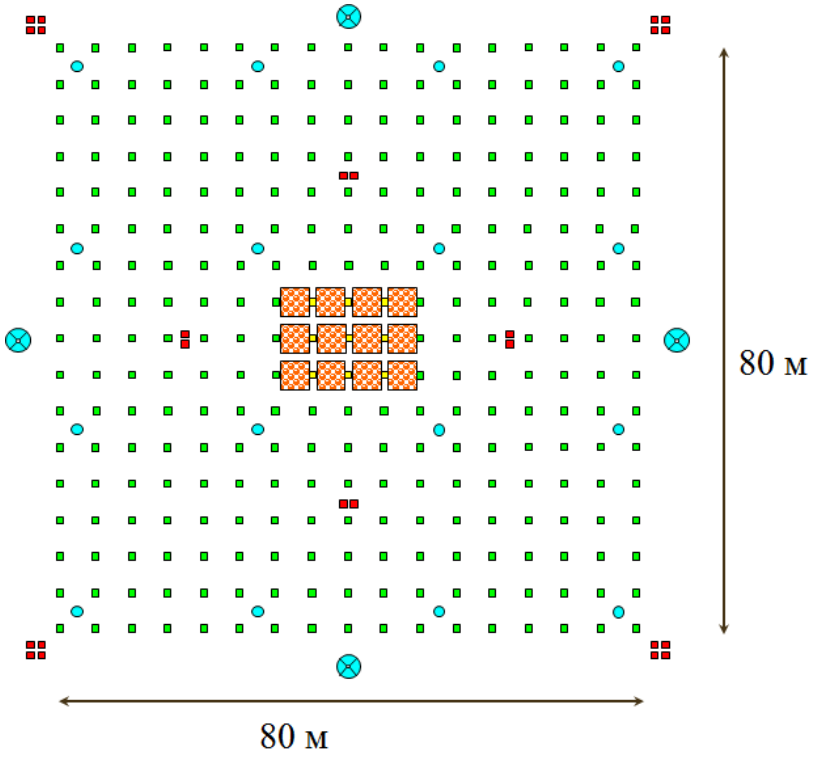
Дар таҷрибаи Помир моделҳои гуногуни таъсири мутақобилаи ҳастаӣ санҷида шуданд. Мълум гардид, ки ҳангоми энергияҳои аз 1014-1015 Эв камтар мушахассаҳо таъсири мутақобила бо маълумотҳои аз суръатфизоҳо ба даст меомада зиддият надорад. Вале дар энергияҳои баландтар фарқияти зиёде ба назар мерасад: скейлинг дар ҳудуди тақсимшавӣ вайрон мешавад. Ҳамчунин дар таҷрибаи Помир ҳодисаҳо бо якчанд марказ, ки дар як хат мехобанд, мушоҳида гардиданд. Ин метавонад натиҷаи таъсири раванди нави физикӣ ба рушди каскади ҳастаиву элекмтромагнитӣ дар ҳаво ё флуктуатсияи рушди худи каскад бошад. Дар Эксперименти мазкур ҳодисаҳое мушоҳида гардиданд, ки зиёда аз 100 зарраро дар бар мегирифтанд. Ҳодисаи “Фианит”, ки зиёа аз 50 зерсохтор дорад, аз нури кайҳоние ба вуҷуд омадааст, ки энергияи ибтидоиаш аз 1017 эВ зиёдтар аст. Ҳодисаи “Татяна” бошад 225 гамма-квант ва 65 адрон дошта, энергияи натиҷавии он 1,7·1016 эВ аст [5]. Ҳодисаи дигари муҳим бо ном “Тоҷикистон” аст, ки масоҳати ҳалои он SD=0.5 ~ 1500 mm2 буда, тақрибан 2000 зарраро дар бар мегирад (Расми 3) ва он бори аввал аз тараҷи олими ҷопонӣ Ошава таҳлил ва коркард карда шуда буд [6].

Бо шурӯъ шудани ҷанги шаҳрвандӣ таҳқиқот дар пойгоҳи Помир қатъ гардид. Ҳоло бошад, лоиҳаи эксперименти “Помир-21” вуҷуд дорад, ки мувофиқи он дар минтақаи Колучкӯли Мурғоб пойгоҳи муосири омӯзиши астрофизикаи нурҳои кайҳонӣ ташкил бояд

карда шавад. Дар доираи он дастгоҳҳои сабти афканишоти черенковӣ (декекторҳои босуръат ва телескопҳои кунҷии черенковӣ), декторҳои зарраҳои заряднок, треккери мюонӣ, камераи амиқи рентгениву эмулсионӣ ва дигар таҷҳизот гузошта мешаванд, ки тарзи ҷойгиршавии онҳо дар расми 4 оварда шудааст.



Расми 3. Ҳодисаи Тоҷикистон



Расми 4. Тарзи ҷойгиршавии детектору телескопҳои “Помир-21”

Дар доираи лоиҳаи “Помир-21” таҳқиқоти зиёде анҷом дода шудаанд, ки дар доираи онҳо усулҳои омӯзиши зарраҳои зарядноки ибтидоии кайҳонӣ, гамма-квантҳои баландэнергия тавассути афканишоти черенковӣ ва зарраҳои заряднок коркард карда шудаанд, ки барои амалисозии ин лоиҳа хеле муҳиманд. Усулҳои коркардшуда имкон медиҳанд, ки самти омадани нурҳои ибтидоии кайҳонӣ бо саҳеҳии 0,1°, маркази селҳои васеи атмосферӣ бо саҳеҳии 1-2 м, энергияи онҳо бо аниқияти 10-20% муайян карда шаванд. Ҳамчунин истифодаи усули ҳибридии ба сабти афканишоти черенковӣ асосшуда имкон медиҳад, ки зарраҳои зарядноки нурҳои кайҳонии ибтидоӣ ба се гурӯҳ ҷудо карда шаванд, ки дар таърихи омӯзиши заминии нурҳои кайҳонии баландэнергия бесобиқа аст [7-11]. Дар сурати амалӣ шудани ин нақшаҳо илми тоҷик дар арсаи ҷаҳонӣ муаррифии тоза гирифта, мутахассисони маҳаллӣ метавонанд дар сатҳи ҷаҳонӣ ба таҳқиқот машғул бошанд.

Адабиёти истифодашуда

1. И. Бободжанов. История эксперимента «Памир». Д., 2008.
2. И. Бободжанов. История исследования взаимодействий космических лучей с ядрами на Памире. Д., 2010.
3. Pamir Collaboration, Mt. Fuji Collaboration, Chacaltaya Collaboration. Nuclear interactions of super high energy cosmic-rays observed in mountain emulsion chambers // Nuclear Physics B, V. 191, № 1, 1981.
4. Pamir Collaboration, Chacaltaya Collaboration. Observation of a high-energy cosmic-ray family caused by a Centauro-type nuclear interaction in the joint emulsion chamber experiment at the Pamirs // Physics Letters B, V. 190, № 1–2, 1987.
5. И. В. Ракобальская, Т. М. Роганова. Результаты экспериментов в космических лучах ч использованием эмульсионных детекторов // ВМУ. Серия 3. 2010. №4.
6. Ohsawa, A. Preliminary report on the large halo event TADJIKISTAN // II Nuovo Cimento C 19, 1031–1038 (1996).
7. Galkin V.I., Borisov A.S., Bakhromzod R., Batraev V.V., Latipova S., Muqumov A., EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array. //EPJ Web of Conferences, 145, № 15004 (2017).
8. В. И. Галкин, А. С. Борисов, Р. Бахромзод, В. В. Батраев, С.З. Латипова, А.Р. Мукумов. Метод определения параметров первичной частицы широкого атмосферного ливня высокогорной установкой // Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. № 2, 2018.
9. R. Bakhromzod, V.I.Galkin. The search and analysis of optimal criteria for the selection of extensive air showers from γ-quanta by Cherenkov telescopes // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Vol. 1018, 2021, 165842.
10. Мукумов А.Р., Галкин В.И., Оценка первичных параметров широкого атмосферного ливня по данным детекторов частиц высокогорных установок // Ученые записки физического факультета Московского Университета, № 3, 1830801, 2018.
11. Латипова С.З., Галкин В.И. Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью высокогорной установки // Ученые записки физического факультета Московского Университета, № 3, 2020.

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ5К10, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ

[1]И.Н. Ганиев, [1]У.Ш. Якубов, [2]К. Ботуров, [1]М.Ш. Джураева, [2]А.Г. Сафаров
[1]Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана
[2]Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана
Email: boturov.kodir@mail.ru

Теплоёмкость является важнейшей характеристикой веществ и по её изменению от температуры можно определить тип фазового превращения, температуру Дебая, энергию образования вакансий, коэффициент электронной теплоёмкости и др. свойства. В настоящей работе теплоёмкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ5К10 определялось в режиме «охлаждения», по известной теплоёмкости эталонного образца из меди марки М00. Для чего обработкой кривых охлаждения образцов из сплавов системы АЖ5К10-Ga и эталона получены уравнения описывающие их скорости охлаждения. Далее, по экспериментально найденным величинам скоростей охлаждения образцов из сплавов и эталона, зная их массы, установлены полиномы температурной зависимости теплоемкости сплавов, которые описываются четырёхчленным уравнением. Используя значения теплоемкости сплавов. Полученные зависимости показывают, что с ростом температуры теплоёмкость и коэффициент теплоотдачи сплавов увеличиваются.

Ключевые слова: алюминий сплав АЖ5К10, галлий, теплоёмкость, коэффициент теплоотдачи, режим «охлаждения».

Анализ литературы показывают, что алюминия низкой степени чистоты с повышенным содержанием железа почти не находит использования, кроме как для раскисления и дегазации стали. Сплавы алюминия с железом и литием, магнием и церием широко применяют в качестве носителя электрического заряда в электротехнике [1, 2].

Таким образом, цель работы заключалась в разработке новых сплавов на основе низкосортного алюминия, с тем, чтобы превратить данный металл в сплав, который отличался бы особыми свойствами и мог применяться в промышленности. Для реализации поставленной цели в качестве объекта исследования был выбран тройной алюминиевой сплав эвтектического состава АЖ5К10, который подвергался легированию галлием в количестве от 0.05 до 3.0 мас.%.

Сплавы для изучения теплоемкости и термодинамических функций получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ. Для этого использовали алюминий с повышенным содержанием железа (5 мас.%). Данный металл извлекался непосредственно из одной ванн электролизных алюминиевой компании ГУП «ТАлКо». Затем в расплав при температуре 850-900 ^{0}С вводился кремний кристаллический из расчёта 10 мас.%. В результате получалось сплав марки АЖ5К10. Расплав дегазировалось таблетками «дегайзера». Затем удалялось шлак. После этого данный сплав легировалась галлием. Контроль содержания железа и кремния проводилось в Центральной заводской лаборатории ГУП “Таджикская алюминиевая компания”. Состав сплавов также контролировалось взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1-2% отн. синтез сплавов проводился заново. Далее из расплава удалялось шлак и производилось литьё образцов для исследования теплофизических

свойств, в графитовую изложницу. Образцы цилиндрической формы имели диаметр 16мм и длину 30мм.

Измерение теплоемкости проводилось по методике описанным в работах [3-5]. Для измерения температуры использовали многоканальный цифровой термометр, который позволял прямо фиксировать результаты измерений на компьютере в виде таблиц. Точность измерения температуры составляла 0,1 ^{0}С. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 40 ^{0}С до 400 ^{0}С составляла ±1%. Погрешность измерение теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 2-4% в зависимости от температуры.

Обработка результатов измерений производилось с помощью программы MS Excel. Графики строились с помощью программы Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составлял величину $R_{корр} \succ 0{,}9925$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции.

Предварительно для определения погрешности метода измерялась теплоемкость меди марки М00 по отношению к алюминия марки А7, а также теплоемкость меди относительно алюминия. Результаты измерения для трех параллельных экспериментов представлены в таблице 1 и 2. Установленное значение погрешности измерений теплоемкости меди марки М00 не превышает 1.5%. Далее в качестве эталона взята медь марки М00. В этом плане именно медь является более надежным металлом, поскольку она характеризуется более высокой температурой плавления и достоверными значениями теплоемкости, определенными многими авторами разными параллельными методами [6].

Сравнение экспериментально полученных значений теплоемкости меди по отношению к алюминию марки А7 показывает почти 99%-ную сходимость с данными, приведенными в справочнике [6].

Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения образцов. Кривые охлаждения представляет собой зависимость температуры образца от времени при охлаждении его на воздухе [7, 8].

Экспериментально полученные временные зависимости температуры образцов (рисунок 1а) описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \qquad (1)$$

где: a, b, p, k – константы; τ - время охлаждения.

Дифференцируя (1) по τ получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \qquad (2)$$

По уравнению (2) были вычислены скорости охлаждения образцов из алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием, которые приставлены на рисунке 1б. Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (2) для исследованных сплавов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнение (2) для алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием и эталона (Cu марки М00)

Содержание галлия в сплаве, мас.%	a, К	$b\cdot10^{-2}$, с$^{-1}$	p, К	$k\cdot10^{-5}$, с$^{-1}$	ab, $Кс^{-1}$	$pk\cdot10^{-2}$, $Кс^{-1}$
0.0	488,570	0,664	309,434	5,30	3,25	1,64
0.05	485,350	0,664	310,693	5,27	3,22	1,64
0.5	485,351	0,664	311,192	5,26	3,22	1,64

1.0	485,351	0,664	311,291	5,26	3,22	1,64
3.0	485,351	0,664	311,092	5,26	3,22	1,64
Эталон	481,337	0,648	329,322	8,12	3,12	2,67

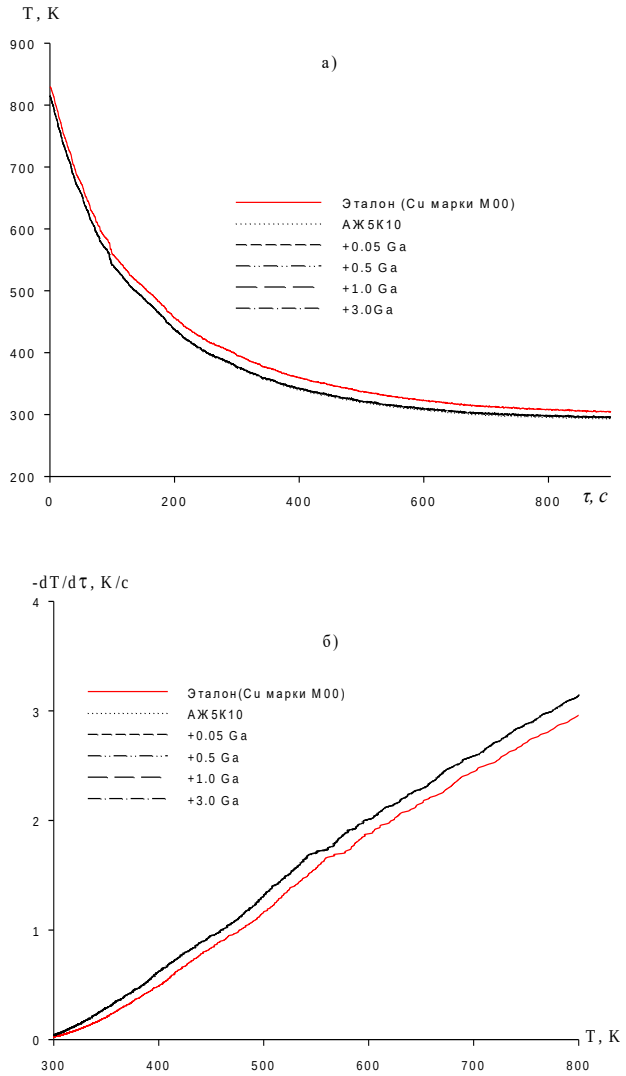


Рисунок 1. Зависимость температуры (а) и скорости охлаждения (б) для образцов из алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием и эталона (Cu марки М00) от времени

Далее по рассчитанным значениям величин скорости охлаждения образцов из сплавов и эталона (Cu марки М00), по уравнению (3) была вычислена удельная теплоемкость сплава АЖ5К10 с галлием

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \qquad (3)$$

где: $m_1=\rho_1 V_1$ –масса эталона; $m_2=\rho_2 V_2$ –масса исследуемого образца; $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ - скорости охлаждения образцов из эталона и сплавов при данной температуре.

Проводя полиномную регрессию, было получено следующее уравнение (4) для температурной зависимости удельной теплоемкости алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием

$$C_P^0 = a + bT + cT^2 + dT^3, \qquad (4)$$

Результаты расчёта теплоемкости сплава АЖ5К10 с галлием по формуле (3) через 100 К представлены в таблице 2 и на рисунке 2а. Теплоемкость сплавов от концентрации галлия в сплаве АЖ5К10 уменьшается, а от температуры увеличивается.

Таблица 2.

Температурная зависимость удельной теплоёмкости (кДж/(кг·К)) алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием и эталона (Cu марки М00)

Содержание галлия в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	848,800	1225,900	1288,200	1223,500	1219,600	1464,300
0.05	844,465	1222,705	1285,745	1220,785	1215,025	1455,665
0.5	841,471	1221,771	1285,271	1219,771	1213,071	1452,971
1.0	839,511	1219,151	1281,991	1215,831	1208,471	1447,711
3.0	839,337	1217,767	1279,397	1212,027	1203,457	1441,487
Эталон	384,988	397,662	408,004	416,866	425,100	433,558

Используя значения удельной теплоемкости алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием и экспериментально полученные значения скорости охлаждения, вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ5К10 по уравнению

$$a = \frac{C_P^0 m \dfrac{dT}{d\tau}}{(T - T_0)\cdot S}, \qquad (4)$$

где: Т и T_0 – температура образца и окружающей среды, S,m - площадь поверхности и масса образца, соответственно. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи для алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием представлена на рисунке 2б.

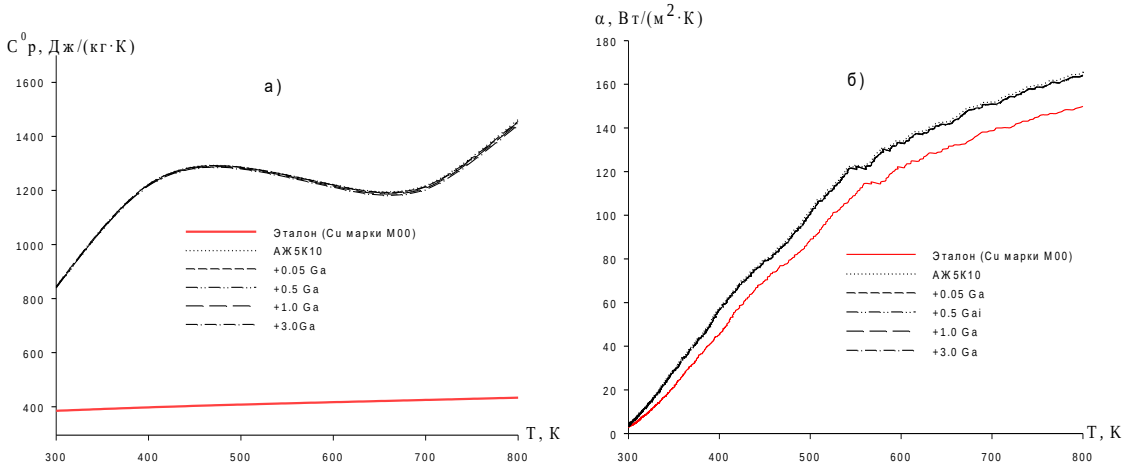


Рис. 3. Температурная зависимость удельной теплоемкости (а) и коэффициента теплоотдачи (б) алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием и эталона (Cu марки М00)

В режиме «охлаждения» по известной теплоёмкости эталонного образца из меди марки М00 установлена теплоёмкость алюминиевого сплава АЖ5К10 с галлием. С помощью полученных полиномных зависимостей показано, что с ростом температуры теплоёмкость и коэффициент теплоотдачи увеличиваются. Добавки галлия в изученном концентрационном интервале (0.05 - 3.0 мас. %) уменьшает теплоемкость и коэффициент теплоотдачи исходного сплава АЖ5К10. Изменения теплоемкости и коэффициента теплоотдачи сплавов от концентрации галлия в сплаве связан с его модифицирующим влиянием на структуру твёрдого раствора α-Al, двойных, тройных эвтектик и тем самым с увеличением степени гетерогенности структуры многокомпонентных сплавов [9].

Список литературы

1. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. Т.1. -М.: Металлургия, 1970. 456с.
2. Шанк Ф.А. Структуры двойных сплавов. -М.: Металлургия, 1973. 760с.
3. Ganiev I.N., Nazarova M.T., Yakubov U.S., Kurbonova M.Z., Safarov A.G. Influence of lithium on specific heat and changes in the thermodynamic functions of aluminum alloy AB1 // High Temperature. 2020. Т. 58. № 1. С. 58-63.
4. Ganiev I.N., Safarov A.G., Odinaev F.R., Yakubov U.S., Kabutov K. Temperature dependence of the specific heat and the changes in the thermodynamic functions of a bismuth-bearing AZh4.5 alloy // Russian metallurgy (Metally). 2020. Т. 2020. № 1. С. 17-24.
5. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Эшов Б.Б., Якубов У.Ш. Влияние меди на теплоемкость и изменения термодинамических функций свинца // Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. № 1. С. 55-61.
6. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. М.: Металлургия, 1989. 384 с.
7. Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Асоев М.Дж., Якубов У.Ш., Кабутов К. Температурная зависимость теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов системы Al - Sn // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 1 (35). С. 35-41.
8. Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Асоев М.Дж., Якубов У.Ш., Кабутов К.К. Теплофизические и термодинамические свойства сплавов системы Al - Bi // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2020. Т. 76. № 3. С. 23-29.
9. Мальцев М.В. Модификаторы структуры металлов и сплавов. -М.: Металлургия. 1964. 238с.

СТРУКТУРНЫЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕЩЕННЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ СИСТЕМЫ CU2ZNSN(S1-XSEX)4

[1,2,]Нематов Д.Д., [1,2]Бурхонзода А.С., [2]Хусенов М.А., [2]Юлдашева Д.А., [3]Станчик А.В., [4]Холмуродов Х.Т., [5]Любчик А.

[1]Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАНТ
[2]Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими
[3]Научно-практический центр материаловедения НАН Беларусии
[4]Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия
[5]Лиссабонский университет, Португалия

Аннотация. *В работе с помощью квантово-химических расчетов в рамках теории функционала плотности (ТФП) исследованы геометрическая структура, электронные и оптические свойства нанокристаллов* $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$*, где x = 0, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00. Для расчетов электронных и оптических свойств использовались модифицированный обмен-корреляционный потенциал Беке-Джонсона. Расчетные структурные характеристики показывают, что объем этих систем увеличивается с увеличением концентрации Se.*

Электронные свойства кестерита Cu_2ZnSnS_4, легированного селеном, показывают, что ширина запрещенной зоны имеет тенденцию к уменьшению. Было обнаружено, что поглотительный способность нанокристаллов $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)$, заметно улучшается с увеличением концентрации селена, а следовательно, эффективность преобразования Cu_2ZnSnS_4 в ИК-области излучения увеличивается. Наблюдается оптимизация ширина запрещенной зоны от 1.455 до 0.94 эВ, что хорошо согласуется с существующими экспериментальными данными для чистых и нелегированных систем Cu_2ZnSnS_4 и $Cu_2ZnSnSe_4$. Расчетная ширина запрещенной зоны для системы Cu_2ZnSnS_3Se *составляет 1,346 эВ, что сопоставимо с оптимальной шириной запрещенной зоны полупроводников, используемых в фотоэлектрических приложениях. Было обнаружено, что увеличение концентрации Se приводит к снижению отражательной способности этих систем. Рассчитанные оптоэлектронные параметры и плотность электронных состояний показывают, что система Cu_2ZnSnS_4:Se обладает благоприятным свойством, подходящим для применения в технологии солнечных батарей.*

Ключевые слова: материалы для солнечной энергетике; CZTSSe; запрещенная зона; электронная структура; теория функционала плотности; модифицированный потенциал Беке – Джонсона.

Введение

Известно, что солнечная энергия - богатый ресурс и не производит вредных выбросов. Поэтому исследования высокоэффективных, дешевых и эффективных солнечных панелей становятся все более серьезными. В последние годы кремниевые солнечные элементы нашли массовое производство и индустриализацию, а эффективность фотоэлектрического преобразования на их основе достигла 21,4%, что является рекордом среди сопоставимых продуктов всех солнечных элементов [1]. Однако высокая стоимость и степень загрязнения кремниевого сырья была самым большим препятствием, ограничивающим его дальнейшее развитие. Тонкопленочные солнечные элементы, известные как одно из самых многообещающих и гибких средств для науки о возобновляемых источниках энергии, которые вызвали огромный исследовательский интерес среди ученых с целью разработки их с высокоэффективными поглотителями для использования в солнечной энергии. В последние годы кестеритные тонкие пленки Cu_2ZnSnS_4 (CZTS) привлекают все большее внимание как распространенный, нетоксичный, дешевый и перспективный материал для светопоглощающих слоев солнечных элементов третьего поколения [2]. Соединение Cu_2ZnSnS_4 имеет проводимость p-типа и высокий коэффициент поглощения около 104 см$^{-1}$ в видимой области спектра, ширина запрещенной зоны 1,5 эВ близка к оптимальному значению для фотоэлектрического преобразования солнечного света (1,35 эВ) и, в отличие от $CuIn_xGa_{1-x}(S,Se)_2$ (CIGSe), он содержит только недорогие богатые землей ингредиенты. Кроме того, ширину запрещенной зоны поглотителя CZTSSe можно регулировать, изменяя отношение S/(S+Se) от ~ 1.0 эВ $Cu_2ZnSnSe_4$ (CZTSe) до ~ 1.5 эВ Cu_2ZnSnS_4 (CZTS). С другой стороны, изменение содержания S/Se не только вызывает изменение ширины запрещенной зоны, но также изменяет сродство к электрону (χ), коэффициент поглощения и последовательное сопротивление.

Рекорд КПД для солнечных элементов на основе CZTS составляет 11% [3], а для элементов на основе CZTSSe - 19,06% [4], хотя теоретический КПД для этих материалов достигает 32% в соответствии с пределом Шокли-Кайссера. Улучшение характеристик солнечных элементов CZTS может быть реализовано за счет включения и введения посторонних ионов с разными радиусами внутрь элементарной ячейки этих материалов.

В данной работе геометрическая структура, электронные и оптические свойства Cu_2ZnSnS_4, легированного Se, были исследованы *Ab initio* (перво принципные расчеты) расчетами в рамках ТФП.

Материалы и методы

Геометрическая структура кестерита $Cu_2ZnSnSe_4$ была исследована в рамках ТФП с использованием расширенного волнового пакета WIEN2k [5]. Оптимизация геометрии была проведена путем разрешения релаксации всех положений атомов в ячейке. Электрон-электронная корреляция выражалась приближением обобщенного градиента (GGA-PBE) [6]. K-точечная сетка 2 × 2 × 1 была выбрана в зоне Бриллюэна по схеме Монкхорста – Пака (MP) [7]. Обрезка плоской волны была выбрана равной 500 эВ.

Расчеты оптоэлектронных свойств Cu_2ZnSnS_4, легированного селеном, после оптимизации геометрии были выполнены с использованием пакета расширенных плоских волн и локальной орбиты с полным потенциалом, WIEN2k, где был использован модифицированный потенциал Бекке – Джонсона (mBJ) [8] для функционала электрон-электронной корреляции. Во многих работах было показано, что mBJ дает точную и экспериментально сопоставимую оценку ширины запрещенной зоны [9-16] по сравнению с известными приближениями, такими как GGA. Процедура вычисления энергии корреляции электронов по mBJ приведена в [16]. Отсечка плоской волны Kmax была выбрана равной 6.0 $Ry^{1/2}$. Сетка k-точек составляла 2 × 2 × 1 для всех квантово-химических расчетов с использованием схемы MP. Уравнения Кона-Шэма решались на основе LAPW. Распределения потенциала и плотности заряда внутри сфер маффин-тин (MT) расширены по сферическим гармоникам с орбитальным числом l_{max}=10. При расчете электронных и оптических свойств радиусы маффин-олова для нанокристаллов $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Sex)_4$ (x = 0,00, 0,25, 0,50, 0,75 и 1,00) составили 2,31, 2,39, 2,5, 1,96 и 2,2 а.е. для Cu, Zn, Sn, S и Se соответственно.

Результаты и обсуждение

Геометрическая структура системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Sex)_4$ исследована в рамках программы DFT-WIEN2k. Оптимизация геометрии проводилась за счет релаксации всех позиций атомов в ячейке, что неизбежно для описания структурного поведения материалов. Уравнение состояния Мурнагана используется для расчета модулей объема и постоянных решетки. Оптимизированные структурные параметры Cu_2ZnSnS_4, легированного Se (система $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Sex)_4$), приведены в таблице 1. Экспериментальные параметры концевых элементов (Cu_2ZnSnS_4 и $Cu_2ZnSnSe_4$) количественно хорошо воспроизводились текущими расчетами (Таблица 1) в пределах типичных ошибок GGA, что подтверждает правильность постановки задачи, а также точность и правильность наших дальнейших расчетов. Однако в литературе отсутствуют данные для сравнения геометрических параметров смешанных материалов (Cu_2ZnSnS_3Se, $Cu_2ZnSnS_2Se_2$, $Cu_2ZnSnSSe_3$) с экспериментальными данными, полученные в данной работе результаты могут стать основой для дальнейших экспериментальных исследований и синтеза Cu_2ZnSn $(S_{1-x}Se_x)_4$ твердые растворы.

На рис. 1 (а, б) представлены графики концентрационной зависимости изменения постоянных параметров решетки и объема нанокристаллов системы Cu_2ZnSn $(S_{1-x}Se_x)_4$ для различного соотношения S/Se.

Поскольку ионный радиус Se больше, чем у сулфура, расчетный объем ячейки, как показано на рис. 1 (b), линейно увеличивается (по закону V=11,3x+311,39) с увеличением концентрации Se, а изменение подчиняется закону Вегарда.

Таблица 1.
Сравнение расчетных структурных параметров с экспериментальными данными (методами XRD, DP и HR-TEM из литературы) для системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Sex)_4$ в зависимости от соотношения S/Se

$Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$ \	Параметры решетки				Погрешность, %
	a = *b*, *c*, Å		*V*, Å^3		
	Данная работа	Эксперимент	Данная работа	Эксперимент	
x=0 (Cu_2ZnSnS_4)	5.48, 10.71	5.43, 10.87[17] 5.45, 10.90 [17] 5.44, 10.87 [18]	322.72	320.50[17] 323.75[17] 321.68[18]	0.69 0.31 0.32
x=0.25 (Cu_2ZnSnS_3Se)	5.56, 10.78	–	333.77	–	–
x=0.5 ($Cu_2ZnSnS_2Se_2$)	5.63, 10.88	–	345.21	–	–
x=0.75 ($Cu_2ZnSnSSe_3$)	5.75, 11.01	–	364.24	–	–
x=1 ($Cu_2ZnSnSe_4$)	5.75, 11.08	5.70, 11.43 [18] 5.70, 11.38[19] 5.69,11.32 [20]	367.49	370.38[18] 369.73 [19] 366.49 [20]	0.78 0.60 0.27

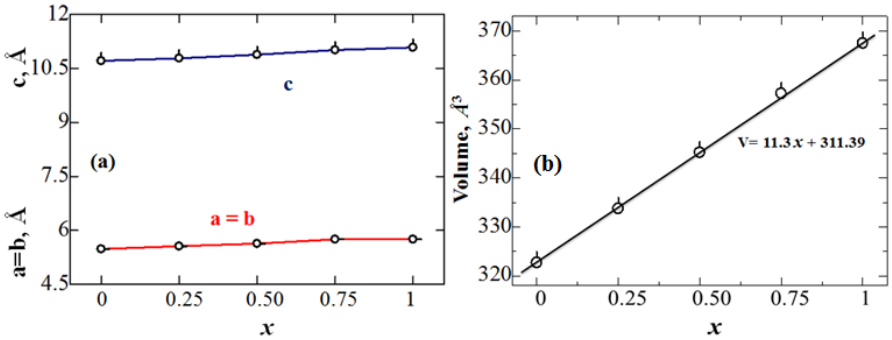


Рис. 1. Расчетные параметры решетки (а) и объемные нанокристаллы (б) в зависимости от концентрации Se для системы $Cu_2ZnSn\ (S_{1-x}Se_x)_4$

Согласно результатам наших квантово-химических расчетов, для некоторых смешанных кестеритов наблюдается искажение структуры и изменение межплоскостного расстояния (Рис.2 (б, г)) в зависимости от концентрации Se, что хорошо видно из смещения и сдвиги пиков дифрактограмм, показанных на рис. 2 (з).

Для сравнения с экспериментальными наблюдениями мы смоделировали теоретические рентгенограммы всех исследованных систем, и, как показано на рис. 2 (i), рентгеновская дифрактограмма для чистого Cu_2ZnSnS_4 очень хорошо согласуется с экспериментальными наблюдениями [21]. По данным рентгеноструктурного анализа, длины связей Cu–S распределяются в диапазоне 2.301–2.312 Å; длины связей Zn–S распределяются в диапазоне 2.367–2.384 Å; длины связей Sn–S распределяются в диапазоне 2.469–2.485 Å. Это особое структурное свойство приводит к тому, что центры положительного и отрицательного заряда в каждом тетраэдре не совпадают. Картины дифракции рентгеновских лучей на порошке были получены из оптимизированной

геометрии с использованием программного обеспечения VESTA с CuKa излучением (λ = 1,54 Å).

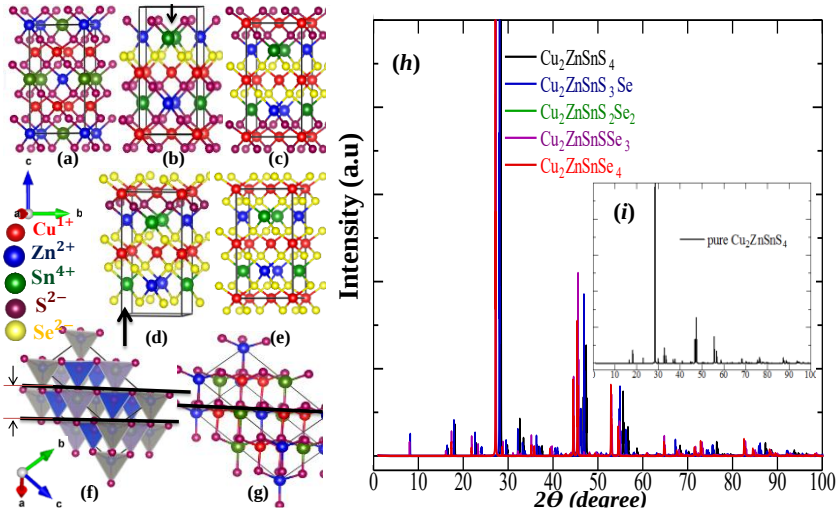


Рис. 2. Модели кристаллических структур (a-e) и дифрактограммы (h, i) для нанокристаллов системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$. Структуры кристаллической решетки: (a) Cu_2ZnSnS_4, (b) Cu_2ZnSnS_3Se, (c) $Cu_2ZnSnS_2Se_2$, (d) $Cu_2ZnSnSSe_3$, (e) $Cu_2ZnSnSe_4$ и (f,g) диаграммы межплоскостных расстояний в системе $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$.

Расчетная полная плотность электронных состояний для оптимизированных систем, показана на рис. 3. Пунктирными линиями показано положение уровня Ферми.

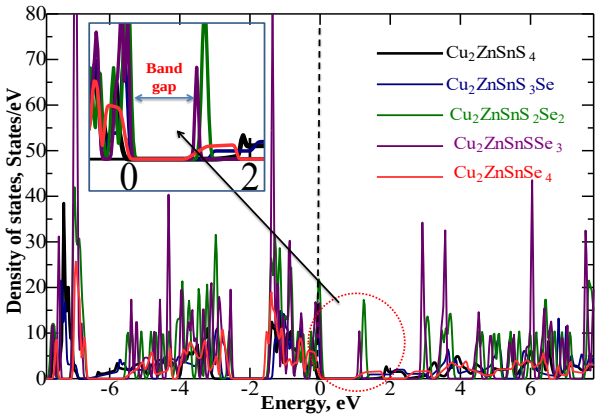


Рис. 3. Полная плотность электронных состояний (TDOS) для системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$, где $0 \le x \le 1$.

Как видно из рис. 3, с увеличением концентрации селена ширина запрещенной зоны (энергетический зазор, запрещенная зона) уменьшается, и для некоторых критических концентраций, например, например для 0,25 и 0,75 ат.% Se (Cu_2ZnSnS_3Se и $Cu_2ZnSnSSe_3$), внутри запрещенной зоны (показано стрелкой на рис. 3) появляются новые энергетические состояния, которые позволяют электронам легко переходить из валентной зоны в зону проводимости под действием низкоэнергетических (длинноволновых) фотонов. С другой стороны, в этих системах наблюдается резкое увеличение плотности электронных состояний на атомных орбиталях (показано розовыми и серыми линиями на рис. 3).

Расчетные значения ширины запрещенной зоны этих материалов приведены в таблице 2. В литературе сообщается, что в зависимости от функции электронной плотности и выбора обменно-корреляционного потенциала результаты расчетов ряда физико-химических параметров конденсированного состояния точно совпадают с

экспериментальными данными [22], и, соответственно, рассчитанные нами значения ширины запрещенной зоны для семейства кестерита в рамках mBJ хорошо согласуются с данными экспериментальных измерений (табл. 2).

Таблица 2.

Сравнение расчетной ширины запрещенной зоны с экспериментальными данными для системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)$, где $0 \leq x \leq 1$

$Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$	Ширина запрещенная зона, eV	
	Данная работа (mBJ)	Эксперимент
Cu_2ZnSnS_4	1.455	1.48[23], 1.48[24], 1.45-1.6[25],1.5[26], 1.5[27]
Cu_2ZnSnS_3Se	1.346	–
$Cu_2ZnSnS_2Se_2$	1.229	–
$Cu_2ZnSnSSe_3$	1.102	–
$Cu_2ZnSnSe_4$	0.94	1[27], 0.96[28], 0.95[29]

Расчетные значения ширины запрещенной зоны представлены на рис. 4, из которых следует, что ширина запрещенной зоны линейно уменьшается с увеличением концентрации Se в системе $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)$.

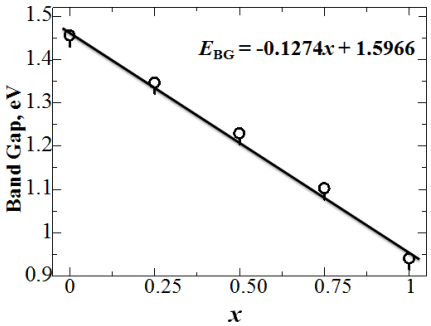


Рис. 4. Изменение рассчитанной ширины запрещенной зоны в зависимости от концентрации Se для системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)$

Наименьшие квадраты, соответствующие расчетной ширине запрещенной зоны, показанной сплошной линией на рис.4, выражаются следующей эмпирической формулой: E_{BG} = -0,1274x+1,5966, из которой можно оценить значение ширины запрещенной зоны в Cu_2ZnSnS_4, для любого концентрация Se.

Затем с помощью оптического кода, реализованного в пакете WIEN2k, были рассчитаны оптические свойства в виде коэффициента поглощения и спектров отражения в зависимости от энергии фотонов и их длины волны. На рисунках 5 (а, б) показаны коэффициенты поглощения в зависимости от энергии фотонов и их длины волны соответственно для всего семейства исследуемых систем.

Видно, что с увеличением концентрации Se поглощающая способность исследуемых материалов увеличивается. Фактически, на краю ИК-области и в начале видимой области излучения наблюдается резкое увеличение коэффициента поглощения при некоторых концентрациях легирования Se (указано стрелкой на рис. 5 (а)), которое либо связано с ошибкой в наших расчетах, либо зависит от квантовой природы этих систем. Это как раз те смешанные кестериты, во внутренней запрещенной зоне которых возникли новые

дефектные энергетические состояния за счет атомов Se. Однако при воздействии более длинных волн чистый $Cu_2ZnSnSe_4$ демонстрирует более высокую поглощающую способность (рис. 5 (b)).

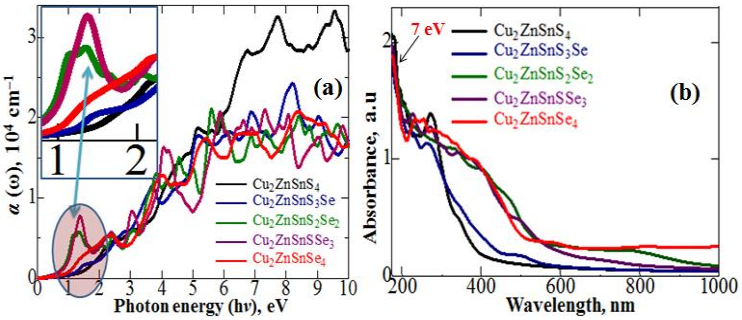


Рисунок 5 (а, б). Расчетные коэффициенты поглощения в зависимости от энергии фотонов и их длины волны для системы $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)$

Наконец, рассчитанные спектры отражения света R (ω) для ИК-излучения и низкоэнергетических видимых лучей показаны на рис. 6 для всех исследуемых материалов. Полученные спектры отражения чистого кестерита (Cu_2ZnSnS_4) с высокой точностью соответствуют литературным данным [30].

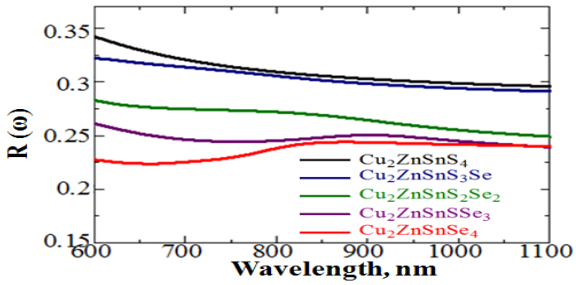


Рис. 6. Отражательная способность как функция концентрации Se для $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)$

Согласно результатам, с увеличением содержания Se в системе коэффициент отражения имеет тенденцию к снижению (рис. 6), что также подтверждается увеличением коэффициентов поглощения исследуемых материалов. Видно, что система $Cu_2ZnSnSe_4$ имеет наименьшее отражение в видимой и ИК областях. Однако для некоторых смешанных кестеритов, например $Cu_2ZnSnSSe_3$, на краю ИК-диапазона наблюдаются более низкие отражения, чем для чистого $Cu_2ZnSnSe_4$.

В результате анализа оптических свойств край поглощения смещается в сторону более низких энергий по мере увеличения концентрации Se, как и ожидалось, из-за изменения ширины запрещенной зоны, все эти материалы кажутся подходящими для фотоэлектрических приложений.

Заключение

В данной работе геометрическая структура, электронные и оптические свойства были исследованы для Cu_2ZnSnS_4, легированного Se, со структурой перовскита путем расчетов из первых принципов с использованием ТФП. Электронные и оптические исследования показали, что легирование Se может привести к увеличению и оптимизации ширины запрещенной зоны. Расчетные оптические свойства четко указывают на поглощение в видимой и инфракрасной областях. Основываясь на приведенных выше характеристиках, можно сделать вывод, что эти материалы могут подходить для

использования в качестве представляющих интерес оптических материалов. Изученный новый смешанный кестерит может подтвердить критерии поиска материалов-кандидатов, подходящих для фотоэлектрической конструкции. Следует отметить, что такие материалы будут иметь несколько важных преимуществ, а именно более низкую токсичность, структурную стабильность, благоприятные оптические характеристики и т. Д., Что делает их привлекательными материалами для фотоэлектрических устройств и батарей солнечных элементов.

Литература

1. Goetzberger, A., et all. Photovoltaic materials. History, status and outlook/ Materials Science and Engineering, - 2003, 1, 1-46.

2. Chen, S., et all. Recent progress in the theoretical study of Cu2ZnSnS4 and related chalcogenide semiconductors, Physics, - 2011, 40, 248-258.

3. Sun, K., et all. Over 9% efficient kesterite Cu_2ZnSnS_4 solar cell fabricated by using $Zn_{1-x}Cd_xS$ Buffer Layer/ Adv.Energy Mater, - 2016, 6, e1600049.

4. Mehran, M., et all.. Efficiency enhancement of CZTSSe solar cells via screening the absorber layer by examining of different possible defects / Scientific Reports, - 2020, 10, 218-223.

5. Schwars, K. Solid state calculations using WIEN2k. Computational Materials Sciens 2003, 28, 259-273.

8. John, P., et all. Generalized Gradient Approximation Made Simple. Physical Review Letters 1997, 77, 3865.

7. Monkhorst, J.; Pack, D. Special points for Brillouin-zone integrations. Physical Review B 1976, 13, 5188.

8.David, K.; Fabien, T.; Peter, B. Merits and limits of the modified Becke-Johnson exchange potential. Physical Review B 2011, 83, 195134.

9. Nematov, D., et all. First principles analysis of geometrical structure, electronic and optical properties of CsSnI3-xBrx perovskite for photoelectric applications. Journal of Surface Investigation, - 2020, 14, 1208-1221.

10. Нематов, Д. Компьютерный анализ электронных и структурных свойств нанокристаллов CsSnI3:Cl иCsPbI3:Cl / SCI-ARTICLE.RU, - 2019, 76, 187-196.

11. Doroshkevich, A.; Nabiev, A.; et all. Frequency Modulation of the Raman Spectrum at The Interface DNA-ZrO_2 anoparticles. Egyptian Journal of Chemistry 2019, 62, 13-20.

12. Nematov, D., et all. Molecular Dynamics of DNA Damage and Conformational Behavior on a Zirconium-Dioxide Surface. Journal of Surface Investigation, - 2019, 13, 1165–1184.

13. Nematov, D., et all. Molecular Dynamics Simulations of the DNA Radiation Damage and Conformation Behavior on a Zirconium Dioxide Surface. Egyptian Journal of Chemistry 2019, 62, 149-161.

14. Бурхонзода, А., Нематов, Д.Д., и др. Кванто-механический расчет электронного строения ZrO2:Ti4+ в рамках теории функционала плотности. Политехнический вестник, - 2019, 3, 11-17.

15. Nematov, D., et all. Investigation of structural and optoelectronic properties of N-doped hexagonal phases of TiO_2 ($TiO_{2-x}N_x$) nanoparticles with DFT realization: Optimization of the band gap and optical properties for visible-light absorption and photovoltaic applications / Bioint. Res. Appl. J. - 2021, - 11, 3836 - 384814.

16. Нематов Д.Д. Исследование и оптимизация оптоэлектрон-ных свойств N-легированных наночастиц диоксида титана ($TiO_{2-x}N_x$) для фотоэлектри-ческих применений /SCI-ARTICLE.RU, - 2021, 91, 110-130.

17. Nessrin, K., et all. Crystal structure and defects visualization of Cu_2ZnSnS_4 nanoparticles employing transmission electron microscopy and electron diffraction/ Applied Materials Today,-2015, 1(1), 52-59.

18. Nagaoka, A., et all. Growth and characterization of $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$ alloys grown by the melting method/ J. Cryst. Growth, - 2014, 386, 204-208.

19. He, J., et all. 10× faster synthesis of chalcogenide solid solutions with tunable S : Se ratio by NaBH4-activated S + Se precursors/ J. Alloys Compd-2012, 529-534.

20. Olekseyuk, I., et all.. Single crystal preparation and crystal structure of the $Cu_2Zn/Cd, Hg/SnSe_4$ compounds / J. Alloys Compd,- 2002, 340, 141–145.

21. Lu, X., Zhuang, Z., Peng, Q., Li, Y. Wurtzite Cu2ZnSnS4nanocrystals: a novel quaternary semiconductor /Chem. Commun, -2011, 47, 3141-3143.
22. Khan W., et al. Theoretical and experimental study of the optoelectronic properties of Nb3O7 (OH) and Nb2O5 photoelectrodes. // J. Physical Chemistry C, - 2016, 120, 23329-23338.
23. Sun, W., et all. Experimental and theoretical study on band gap tuning of Cu2ZnSn(S1−xSex)4 absorbers for thin-film solar cells. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), - 2014. doi:10.1109/pvsc.2014.6924949
24. Malerba, C., et all. CZTS stoichiometry effects on the band gap energy. Journal of Alloys and Compounds, -2013, 582, 528–534.
25. Katagiri, H., et all. Development of thin film solar cell based on Cu_2ZnSnS_4 thin films. Solar Energy Materials and Solar Cells, - 2019, 65(1-4), 141–148.
26. Tanaka, T., et all. Preparation of Cu_2ZnSnS_4 thin films by hybrid sputtering. Journal of Physics and Chemistry of Solids,-2005, 66(11), 1978–1981.
27. Park, D., et all. Polarized Raman scattering analysis of $Cu_2ZnSnSe_4$ and $Cu_2ZnGeSe_4$ single crystals/ Thin Solid Films, - 2011, 519, e7386.
28. He, J., et all. Composition dependence of structure and optical properties of $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ solid solutions: An experimental study. Journal of Alloys and Compounds, - 2012, 511(1), 129–132.
29. Mellikov, E., et all. CZTS Monograin Powders and Thin Films. Advanced Materials Research, - 2011, 222, 8–13.
30. Nisha Kodan, et all. A DFT study of the electronic and optical properties of a photovoltaic absorber material Cu_2ZnGeS_4 using GGA and mBJ exchange correlation potentials/ Journal of Alloys and Compounds, - 2016, 675, 236-243.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ $ZRO_2:Y^{3+}$ И $ZRO_2:TI^{4+}$

Бурхонзода А.С.[1,2], Нематов Д.Д.[1,2], Хусенов М. А.[2], Холмуродов Х.Т.[3], Андрей Любчик[4]
[1]*Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАНТ*
[2]*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*
[3]*Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия*
[4]*Лиссабонский университет, Португалия*

Исследование и разработка материалов являются на сегодняшний день одним из самых сложных направлений как в области фи нанотехнологий, так и в области получения новых материалов с уникальным сочетанием свойств. Изучение и исследование различных свойств материалов экспериментальными методами крайне затруднительно требует много времени и больших материальных затрат. В настоящее время квантово-химическое моделирование в рамках теория функционала плотности (ТФП) [1] позволяет проводить такие исследования с большой точностью, что во многом способствует созданию новых устройств на основе функциональных материалов. В последние годы ТФП широко применяется для расчётов в физике твёрдого тела с использованием приближения локальной плотности, которые дают удовлетворительные результаты, соответствующие экспериментальным данным.

В настоящей работе представляется результаты квантово-химическое расчеты электронного строения ZrO_2 легированного элементами Y и Ti. Кубическая фаза ZrO_2, использованная в наших расчетах, принадлежит к пространственной группе Fm3m с кристаллической структурой гранецентрированной кубической решетки из двух атомов в основании, содержащей один атом Zr в положении (0,0,0) и атом кислорода в положении (0,25, 0,25, 0,25). В первые этапы исследования проведены геометрические оптимизации с

помощью программного пакета WIEN2K [2], в результате которого получены значения постоянной решетки кубической фазы (см. таблица 1).

Таблица 1

Параметры решётки для недопированного материала ZrO_2

Параметры решётки			
Атомы	Данная работа	Эксперимент	
	a= b= c = 5.124 Å, V = 134.5333 Å^3,	a=b=c (Å)	5.149 [3] 5.09 [4]
		V (Å^3)	129,9 [5] 136.579 [6]

Дальше с помощью метода ТФП рассчитали плотность электронной состояний ZrO_2 легированного элементами Y и Ti с использованием приближение локальной плотности (PBE).

Для получения легированного 12,83% мол.%, 19,24 мол.% и 25,65 мол.% иттрия диоксида циркония мы построили и исследовали суперячейки размером 2 × 1 × 2 (48 атомов). Указанные процентные составы рассчитаны относительно количество атомов Zr в системе. Добавление иттрия к чистому диоксиду циркония для каждой концентрации проводят путем замены соответствующего количества атомов Zr на соответствующее количество атомов Y.

Для квантово-химического моделирования электронной структуры ZrO_2, допированной ионами Ti, нами построены суперячейки с размером 2x2x2 состоящей из 96 атомов. Далее, произведены замещения 2, 4 и 6 иона Zr на ион Ti с P1 пространственной группой симметрии и проведены геометрические оптимизации системы. Значения концентраций, легированных на структуру диоксида циркония ионов Ti составляли 6,25%, 12,50% и 18,75%.

На рисунок 1(a) и 1(b) показано общая электронные состояния диоксида циркония, легированного ионами Y^{3+} и Ti^{4+}, соответственно

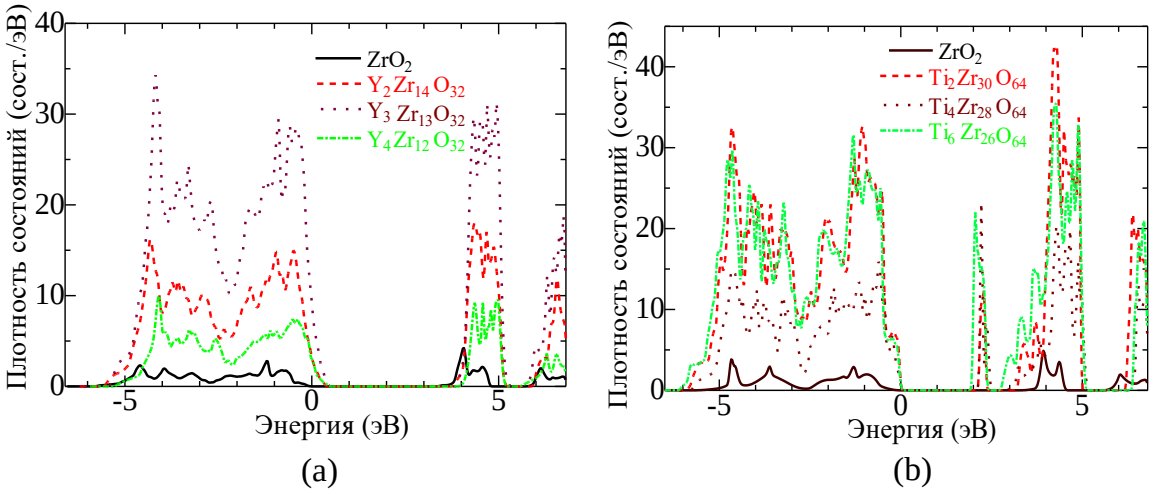


Рисунок 1 – Общая электронная плотность состояния ZrO_2 легированной ионами Y^{3+} (a) и Ti^{4+} (b)

Согласно нашему расчету, ширина запрещенной зоны в рамках расчётов GGA для чистого диоксида циркония составляет 3,301 eV. Все значения запрещенной зоны для всех значениях концентраций атомов замещения (допантов) приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения запрещенной зоны в структуре ZrO_2
от концентрации легированных атомовY и Ti

Структура	GGA (эВ)	Структура	GGA (эВ)	Эксперимент (эВ)
ZrO_2	3.301	ZrO_2	3.301	3,134 [7]
$Y_2Zr_{14}O_{32}$ (12,83 мол.%)	3.695	$Ti_2Zr_{30}O_{64}$ (6,25 мол.%)	2,157	
$Y_3Zr_{13}O_{32}$ (19,24 мол.%)	3.795	$Ti_4Zr_{28}O_{64}$ (12,50 мол.%)	2,136	
$Y_4Zr_{12}O_{32}$ (25,65 мол.%)	3.869	$Ti_6Zr_{26}O_{64}$ (18,75 мол.%)	1,986	

Весьма важным наблюдением является то, что легирование атомов Y и Ti для системы ZrO_2 приводит к большому сдвигу ширины запрещённой зоны. При повышении концентраций атомов Y ширина запрещённой зоны в системе, соответственно, увеличивается, а при повышении концентрации атома Ti ширины запрещённой зоны в системе, соответственно, уменьшается. Это важное обстоятельство указывает на перераспределение зарядов в системе, обладающее большим прикладным значением. Это помогает экспериментаторам получить новых материалов с определёнными ширины запрещённых зон.

Литература

[1]. Шлютер М., Шэм Л. Теория функционала плотности // Физика за рубежом. Сборник статей. 1983 / М., Мир, 1983. - с. 179-203.

[2]. Blaha P. WIEN 2k, Augmented Plane Wave + Local Orbitals Program for Calculating Crystal Properties / P. Blaha, K. Schwarz, G. Madsen, D. Kvasnicka, and J. Luitz // Vienna, Austria, -2001. (See also http://www.wien2k.at)

[3]. Электронный ресурс. Url: https://materialsproject.org/materials/mp-1565/

[4]. Katz G. X-Ray Diffraction Powder Pattern of Metastable Cubic ZrO_2 // J. Am. Ceram. Soc., -1971, -V. 54, -pp. 531-532.

[5]. Tian D., Performance of cubic ZrO_2 doped CeO_2: First-principles investigation on elastic, electronic and optical properties of $Ce_{1-x}Zr_xO_2$ / Tian D., Zeng C. , WangH., LuoH., Cheng X., Xiang C., Wei Y., LiK., Zhu X. //J. Alloy. Compd., -2016, -V. 671, -pp. 208-219.

[6]. Opalinska, J. B., Gewirtz A. M. Nucleic-acid therapeutics: basic principles and recent applications/ Nature Rev. Drug Discov, - 2012, - V.1, - pp. 503–514.

[7]. Электронный ресурс. Url: https://materialsproject.org/materials/mp-1565/

OPTICAL SECOND HARMONIC GENERATION IN BRANCHED WAVEGUIDES

M.E. Akramov[3], S.M. Usanov[4], K.K. Sabirov[2] and O.V. Karpova[1,3]

[1]*Turin Polytechnic University in Tashkent, 17 Niyazov Str., 100095, Tashkent, Uzbekistan*
[2] *Tashkent University of Information Technologies, 108 Amir Temur Str., 100200, Tashkent Uzbekistan*
[3]*National University of Uzbekistan, Vuzgorodok, 100174, Tashkent Uzbekistan*
[4]*Yeoju Technical Institute in Tashkent, 156 Usman Nasyr str, 100121 Tashkent, Uzbekistan*

Abstract. We consider the problem of second harmonic generation in optical waveguide networks constructed by connecting optical fibers at the nodes. Governing equations for optical harmonic generation process are derived. Numerical solutions of such equations are obtained to plot profiles of the harmonic generated.

I. INTRODUCTION

Nonlinear optical processes in low-dimensional functional materials play important role in their implementation in such technologies as quantum optics, nano-and quantum- technologies. Therefore developing the models allowing to describe the mechanism of such processes is of not only practical, but also practical importance. One of the nonlinear processes which attracted much attention recently is optical harmonic generation in low-dimensional optical structures. It plays important role for optical nanomaterials design, laser generation, signal transfer in photonics and optoelectronics and many others. Therefore, for practically important purposes it is required to develop novel functional materials and structures for optical harmonic generation, especially ways for its tuning. In simplest case, this should be second harmonic generation. In this paper we propose one of such models for effective second harmonic generation in a branched optical structure, i.e., second harmonic generation in optical waveguide networks. The model is based on the use of nonlinear evolution equations on metric graphs. These latter are the sets of branched wires connected to each other according to a rule called topology (architecture) of a graph. We note that the topic of partial differential equations (PDE) on graphs has attracted much attention recently (see, e.g., Refs. [1–15] for review). For simplicity, we consider star branched and H-like waveguides. However, our method can be applied for arbitrary branching topologies.

II. SECOND-HARMONIC GENERATION ON THE STAR GRAPH

One of the normalized evolution equations describing optical harmonic generation in a linear (unbranched) optical fiber was derived in [16]. Considering Y-junction of the optical waveguide as a star graph (see, Fig.1), extension of such evolution equation for star branched waveguide can be written as

$$i\frac{\partial a_1^{(j)}}{\partial t} - \frac{r}{2}\frac{\partial^2 a_1^{(j)}}{\partial x^2} + \beta_j a_1^{(j)*} a_2^{(j)} e^{-i\beta t} = 0,$$

$$i\frac{\partial a_2^{(j)}}{\partial t} - \frac{\alpha}{2}\frac{\partial^2 a_2^{(j)}}{\partial x^2} - i\delta\frac{\partial a_2^{(j)}}{\partial x} + \beta_j a_1^{(j)2} e^{i\beta t} = 0, \qquad (1)$$

where $a_1^{(j)}$and $a_2^{(j)}$ are the normalized amplitudes of the fundamental and the second harmonic waves, respectively, $r = -1$ for spatial solitons, $\alpha = -k_1/k_2$ and β_j are nonlinearity coefficients

[16] and k_1 and k_2 are the linear wave numbers, $j = 1, 2, 3$ is the number of bonds. In all cases we set $\alpha = -0.5$.

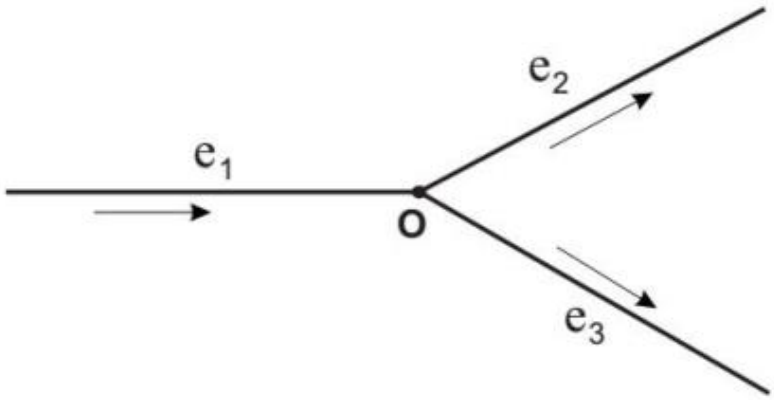


FIG. 1: Star graph

In star graph, presented in Fig. 1, each bond e_j, is assigned a coordinate x_j, which indicates the position along the bond: for bond e_1 it is $x_1 \in (-\infty, 0]$ and for $e_{1,2}$ they are $x_{2,3} \in [0, +\infty)$.

Time and coordinate variables in Eq. (1) can be separated by the following substitution:

$$a_\nu^{(j)}(x,t) = \frac{1}{\beta_j} U_\nu(\eta) \exp[i\phi_\nu(\eta,t)], \qquad j = 1,2,3 \quad \text{and} \quad \nu = 1,2, \tag{2}$$

where U and φ are real functions, $\eta = x - vt$ is the transverse coordinate, and $\varphi_\nu(\eta,t) = k_\nu t + f_\nu(\eta)$. Here v is the soliton velocity and k_ν are the nonlinear wave-numbers. To avoid all energy exchange between the waves one needs $k_2 = 2k_1 + \beta$. Then we obtain the following time-independent system of nonlinear wave equations:

$$\frac{1}{2}\ddot{U}_1 - \left(k_1 - v\dot{f}_1 + \frac{1}{2}\dot{f}_1^2\right) U_1 + U_1 U_2 \cos(f_2 - 2f_1) = 0, \tag{3}$$

$$\frac{1}{2}\ddot{f}_1 U_1 + (\dot{f}_1 - v)\dot{U}_1 + U_1 U_2 \sin(f_2 - 2f_1) = 0, \tag{4}$$

$$\frac{1}{2}\alpha\ddot{U}_2 + \left[2k_1 + \beta - (v+\delta)\dot{f}_2 - \frac{1}{2}\alpha\dot{f}_2^2\right] U_2 - U_1^2 \cos(f_2 - 2f_1) = 0, \tag{5}$$

$$\frac{1}{2}\alpha\ddot{f}_2 U_2 + (\alpha\dot{f}_2 + v + \delta)\dot{U}_2 + U_1^2 \sin(f_2 - 2f_1) = 0, \tag{6}$$

where the overdots indicate the derivative with respect to η. To solve Eqs. (1) one needs to impose the boundary conditions at the graph vertex. They can be derived from the conservation laws for energy flow, transverse momentum and the Hamiltonian, which are given by (respectively)

$$I_j = \int_{e_j} \left(\left|A_1^{(j)}\right|^2 + \left|A_2^{(j)}\right|^2\right) dx, \tag{7}$$

$$J_i = \frac{1}{4i}\int_{e_j} \left[2\left(A_1^{(j)*}\frac{\partial A_1^{(j)}}{\partial x} - A_1^{(j)}\frac{\partial A_1^{(j)*}}{\partial x}\right) + \left(A_2^{(j)*}\frac{\partial A_2^{(j)}}{\partial x} - A_2^{(j)}\frac{\partial A_2^{(j)*}}{\partial x}\right)\right] dx \tag{8}$$

$$H_J = -\frac{1}{2}\int_{e_j}\left[r\left|\frac{\partial A_1^{(j)}}{\partial x}\right|^2 + \frac{\alpha}{2}\left|\frac{\partial A_2^{(j)}}{\partial x}\right|^2 - \beta\left|A_2^{(j)}\right|^2 + \right.$$

$$\left. + \frac{i}{2}\delta\left(A_2^{(j)}\frac{A_2^{(j)*}}{\partial x} - A_2^{(j)*}\frac{A_2^{(j)}}{\partial x}\right) + \beta_j\left(\left(A_1^{(j)*}\right)^2 A_2^{(j)} + \left(A_1^{(j)}\right)^2 A_2^{(j)*}\right)\right]dx, \tag{9}$$

where star denotes complex conjugate and $A_1^{(j)} = a_1^{(j)}$ and $A_2^{(j)} = a_2^{(j)}\exp(-i\beta t)$.

Time derivatives of the conserving quantities can be written as

$$\frac{dI_j}{dt} = \mp\left[r\mathrm{Im}\left[A_1^{(j)*}\frac{\partial A_1^{(j)}}{\partial x}\right] + \alpha\mathrm{Im}\left[A_2^{(j)*}\frac{\partial A_2^{(j)}}{\partial x}\right] - \delta\left|A_2^{(j)}\right|^2\right]\Big|_{x=0}, \tag{10}$$

$$\frac{dJ_j}{dt} = \pm\left[\frac{r}{2}\left|\frac{\partial A_1^{(j)}}{\partial x}\right|^2 + \frac{\alpha}{4}\left|\frac{\partial A_2^{(j)}}{\partial x}\right|^2 + Im\left(A_1^{(j)*}\frac{\partial A_1^{(j)}}{\partial t}\right)\frac{1}{2}\mathrm{Im}\left(A_2^{(j)*}\left(\frac{\partial A_2^{(j)}}{\partial t} + i\beta A_2^{(j)}\right)\right) - \right.$$

$$\left. - \beta_j\mathrm{Re}\left(A_1^{(j)2}A_2^{(j)*}\right)\right] \tag{11}$$

$$\frac{dH_j}{dt} = \mp\frac{1}{2}\left[2r\mathrm{Re}\left(\frac{\partial A_1^{(j)}}{\partial t}\frac{\partial A_1^{(j)*}}{\partial x}\right) + \alpha\mathrm{Re}\left(\frac{\partial A_2^{(j)}}{\partial t}\frac{\partial A_2^{(j)*}}{\partial x}\right) + \alpha\beta\mathrm{Im}\left(\partial A_2^{(j)}\frac{\partial A_2^{(j)*}}{\partial x}\right) - \right.$$

$$\left. -\delta\mathrm{Im}\left(\partial A_2^{(j)}\frac{\partial A_2^{(j)*}}{\partial x}\right) - \beta\delta\left|A_2^{(j)}\right|^2\right]\Big|_{x=0} \tag{12}$$

Time derivative of the total energy flow and the Hamiltonian lead to the following boundary conditions at the vertex when $\delta = 0$ and $\beta = 0$:

$$\beta_1 a_1^{(1)}\Big|_{x=0} = \beta_2 a_1^{(2)}\Big|_{x=0} = \beta_3 a_1^{(3)}\Big|_{x=0},$$

$$\beta_1 a_2^{(1)}\Big|_{x=0} = \beta_2 a_2^{(2)}\Big|_{x=0} = \beta_3 a_2^{(3)}\Big|_{x=0}, \tag{13}$$

$$\frac{1}{\beta_1}\frac{\partial a_1^{(1)}}{\partial x}\Big|_{x=0} = \frac{1}{\beta_2}\frac{\partial a_1^{(2)}}{\partial x}\Big|_{x=0} + \frac{1}{\beta_3}\frac{\partial a_1^{(3)}}{\partial x}\Big|_{x=0},$$

$$\frac{1}{\beta_1}\frac{\partial a_2^{(1)}}{\partial x}\Big|_{x=0} = \frac{1}{\beta_2}\frac{\partial a_2^{(2)}}{\partial x}\Big|_{x=0} + \frac{1}{\beta_3}\frac{\partial a_2^{(3)}}{\partial x}\Big|_{x=0} \tag{14}$$

Plots of the amplitude profiles obtained by solving the system (1) numerically are presented in Fig. 2 for the values of parameters $\alpha = -0.5$, $\delta = 0$, $\beta = 0$, $k_1 = 3$ and the nonlinearity coefficients $\beta_1 = 1.66$, $\beta_2 = 2$, $\beta_3 = 3$.

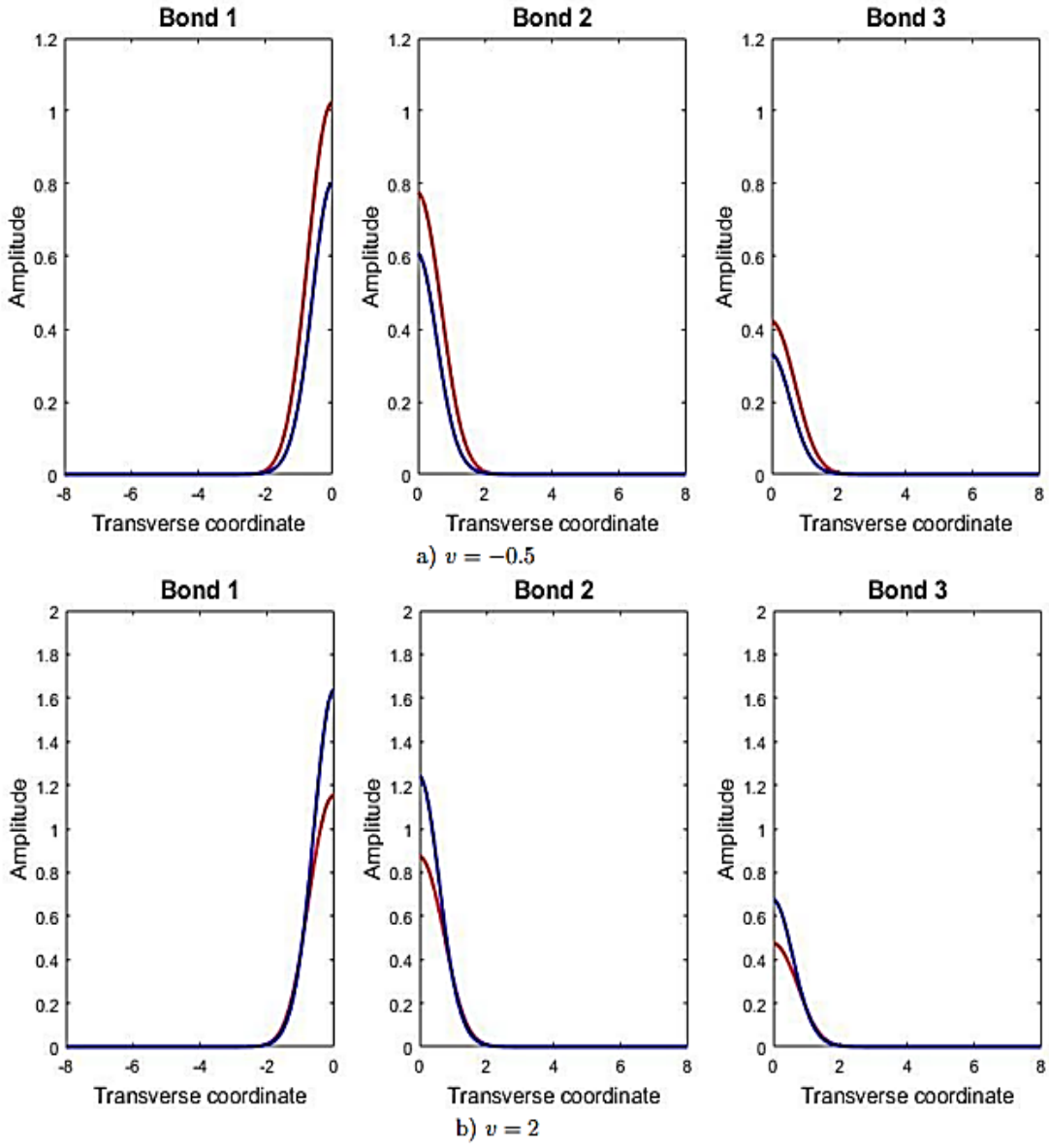


FIG. 2: Amplitude profiles of the fundamental (red line) and second harmonic (SH) (blue line) waves on the star graph. In all cases the parameters are chosen as $\alpha = -0.5$, $\delta = 0$, $\beta = 0$, $k_1 = 3$ and the nonlinearity coefficients $\beta_1 = 1.66$, $\beta_2 = 2$, $\beta_3 = 3$.

III. EXTENSION TO H-LIKE NETWORKS

The above treatment can be directly extended to the case of a network having H-like architecture (see, Fig.3). Considering such structure as H-graph with 4 semi-infinite bonds, the normalized evolution equations describing second harmonic generation can be written as

$$i\frac{\partial a_1^{(j)}}{\partial t} - \frac{r}{2}\frac{\partial^2 a_1^{(j)}}{\partial x^2} + \beta_j a_1^{(j)*} a_2^{(j)} e^{-i\beta t} = 0,$$

$$i\frac{\partial a_2^{(j)}}{\partial t} - \frac{\alpha}{2}\frac{\partial^2 a_2^{(j)}}{\partial x^2} - i\delta\frac{\partial a_2^{(j)}}{\partial x} + \beta_j a_1^{(j)2} e^{i\beta t} = 0. \quad (15)$$

The coordinates in H-graph are defines as $x_{1,2} \in (-\infty, 0]$, $x_3 \in [0, L]$, $x_{4,5} \in [0, +\infty)$, where L is the length of bond e_3, i.e. the distance between two vertices.

Eqs.(2)-(6) can be written for the H-graph, but here $j = 1, 2, 3, 4, 5$.

The boundary conditions at the vertices derived from the conservation laws, as in the case of star graph can be written as

$$\gamma_1^{(1)} a_1^{(1)}\Big|_{x=0} = \gamma_1^{(2)} a_1^{(2)}\Big|_{x=0} = \gamma_1^{(3)} a_1^{(3)}\Big|_{x=0},$$

$$\gamma_1^{(3)} a_1^{(3)}\Big|_{x=L} = \gamma_1^{(4)} a_1^{(4)}\Big|_{x=0} = \gamma_1^{(5)} a_1^{(5)}\Big|_{x=0},$$

$$\gamma_2^{(1)} a_2^{(1)}\Big|_{x=0} = \gamma_2^{(2)} a_2^{(2)}\Big|_{x=0} = \gamma_2^{(3)} a_2^{(3)}\Big|_{x=0},$$

$$\gamma_2^{(3)} a_2^{(3)}\Big|_{x=L} = \gamma_2^{(4)} a_2^{(4)}\Big|_{x=0} = \gamma_2^{(5)} a_2^{(5)}\Big|_{x=0}, \tag{16}$$

$$\frac{1}{\gamma_1^{(1)}} \frac{\partial a_1^{(1)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0} + \frac{1}{\gamma_1^{(2)}} \frac{\partial a_1^{(2)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0} = \frac{1}{\gamma_1^{(3)}} \frac{\partial a_1^{(3)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0},$$

$$\frac{1}{\gamma_1^{(3)}} \frac{\partial a_1^{(3)}}{\partial x}\Bigg|_{x=L} + \frac{1}{\gamma_1^{(4)}} \frac{\partial a_1^{(4)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0} = \frac{1}{\gamma_1^{(5)}} \frac{\partial a_1^{(5)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0},$$

$$\frac{1}{\gamma_2^{(1)}} \frac{\partial a_2^{(1)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0} + \frac{1}{\gamma_2^{(2)}} \frac{\partial a_2^{(2)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0} = \frac{1}{\gamma_2^{(3)}} \frac{\partial a_2^{(3)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0},$$

$$\frac{1}{\gamma_2^{(3)}} \frac{\partial a_2^{(3)}}{\partial x}\Bigg|_{x=L} + \frac{1}{\gamma_2^{(4)}} \frac{\partial a_2^{(4)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0} = \frac{1}{\gamma_2^{(5)}} \frac{\partial a_2^{(5)}}{\partial x}\Bigg|_{x=0}, \tag{17}$$

where $\gamma_{\nu}^{(j)} = \beta_j$.

Plots of the amplitude profiles for the fundamental and second harmonics waves on the H-graph are presented in Fig. 4. for the following values of the parameters: $\alpha = -0.5$, $v = 0.5$, $\delta = 0$, $\beta = 0$, $k_1 = 3$, $L = 8$ and the nonlinearity coefficients $\beta_1 = 2$, $\beta_2 = 3$, $\beta_3 = 1.6641$, $\beta_4 = 2.5$, $\beta_5 = 2.2299$.

IV. CONCLUSIONS

In this work we developed a model for second harmonic generation in optical waveguide networks, by modeling these latter in terms of metric star graphs. Description of second harmonic generation is reduced to the system of nonlinear evolution equations on metric graphs, which is not integrable. Profiles of the generated harmonics are obtained by solving these equations numerically. The proposed model and results obtained can be used for modeling and design branched optical materials in wide range of scales - from macro- to nano-scales and for optimization of technologies using such materials and processes.

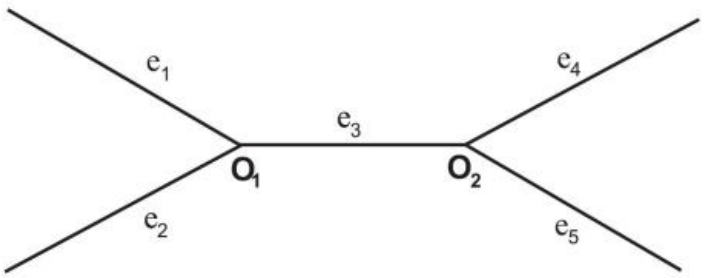


FIG. 3: H-graph

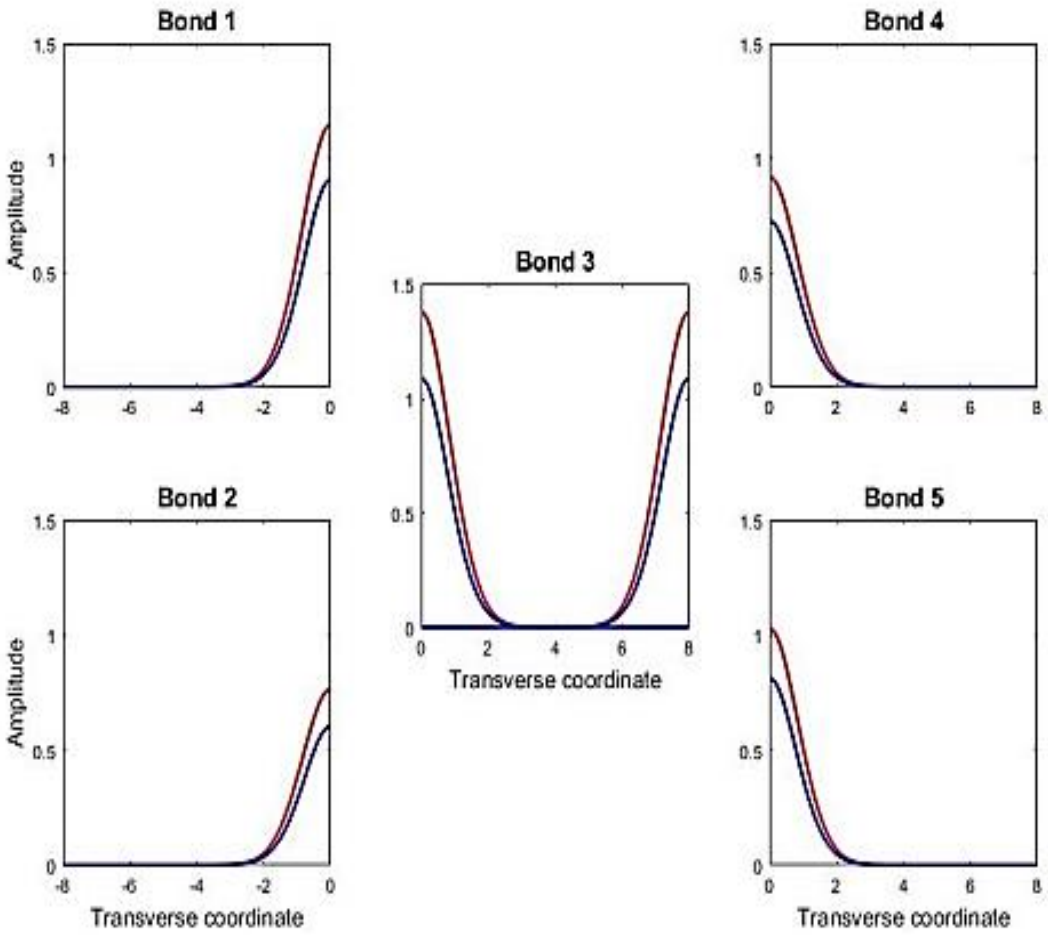


FIG. 4. Amplitude profiles of the fundamental (red line) and SH (blue line) waves on the H-graph. Where $\alpha = -0.5$, $v = 0.5$, $\delta = 0$, $\beta = 0$, $k_1 = 3$, $L = 8$ and the nonlinearity coefficients $\beta_1 = 2$, $\beta_2 = 3$, $\beta_3 = 1.6641$, $\beta_4 = 2.5$, $\beta_5 = 2.2299$.

References

[1] Z.Sobirov, D.Matrasulov, K.Sabirov, S.Sawada, and K.Nakamura, Phys. Rev. E 81 , 066602 (2010).
[2] H. Uecker, D. Grieser, Z. Sobirov, D. Babajanov and D. Matrasulov, , Phys. Rev. E 91, 023209 (2015).
[3] Z. Sobirov, D. Babajanov, D. Matrasulov, K. Nakamura and H. Uecker, EPL 115, 50002 (2016).
[4] D. U. Matrasulov, K. K. Sabirov and J. R. Yusupov, J. Phys. A, 133, 155302 (2019).
[5] M.M. Aripov, K.K. Sabirov, J.R. Yusupov, Nanosystems: phys., chem., math. 10(5), 501-602 (2019).
[6] K.K. Sabirov, J.R. Yusupov, Kh.Sh. Matyokubov, Nanosystems: phys., chem., math. 11(2), 183 (2019).

[7] J. R. Yusupov, K. K. Sabirov, M. Ehrhardt, and D. U. Matrasulov, Phys. Rev. E 100, 032204 (2019).
[8] J. R. Yusupov, K. K. Sabirov, M. Ehrhardt, D. U. Matrasulov, Physics Letters A 383, 2382 (2019).
[9] K. K. Sabirov, D. B. Babajanov, D. U. Matrasulov and P. G. Kevrekidis, J. Phys. A: Math. Theor. 51, 435203 (2018).
[10] D. Babajanov, H. Matyokubov, D. Matrasulov, J. Chem. Phys. 149, 164908 (2018).
[11] K. Sabirov, S. Rakhmanov, D. Matrasulov, H. Susanto, Physics Letters A 382, 1092 (2019)
[12] J. R. Yusupov, K. K. Sabirov, Q. U. Asadov, M. Ehrhardt, and D. U. Matrasulov, Phys. Rev. E 101, 062208 (2020).
[13] K.K.Sabirov, M.E.Akramov, R.Sh. Otajonov, D.U.Matrasulov,Chaos, Solitons and Fractals 133, 109636 (2020).
[14] J. R. Yusupov, K. S. Matyokubov, K. K. Sabirov, D. U. Matrasulov, Chemical Physics 537, 110861 (2020).
[15] D. Matrasulov, K. Sabirov, D. Babajanov and H. Susanto, EPL 130, 67002 (2020).
[16] D. Mihalache et al, Phys. Rev. E 56, R6294(R), 1997.

ОИД БА МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКИИ СОХТОРИ МАВОДҲОИ КОМПОЗИТСИОНӢ

Ф. Шокир, Ш.Ҳ. Ҳомидзода
Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Email: farhod0475@mail.ru

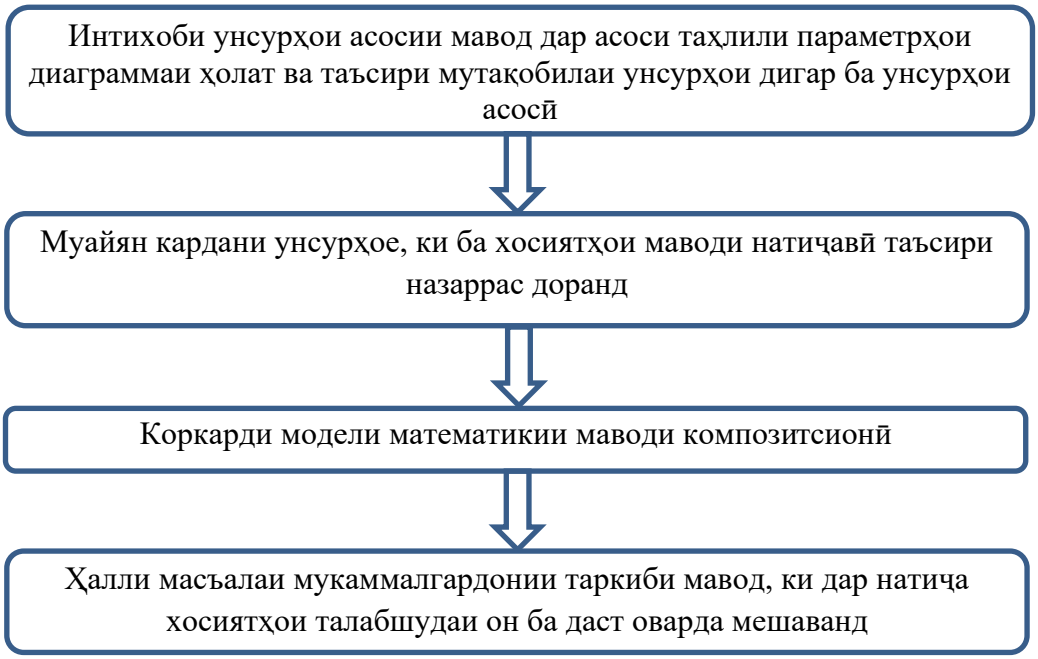
Таҳқиқи амиқтари маводҳо ва дар заминаи он ба даст овардани маводҳои композитсионии инноватсионӣ дар замони муосир барои рушди соҳаи саноат, оғоз аз соҳаи мошиносозӣ ва технологияи коркарди таҷҳизоти рақамӣ то ба соҳаи авиатсия ва кайҳон, масалаи ҳаётан муҳим мебошад. Ҳоло, амалан дар аксарияти соҳаҳои муҳими ҳаётӣ зарурати коркарди комплексӣ дар беҳтаркунии сифату арзиши маводҳои нав ба вуҷуд омадааст. Бо назардошти заруриятҳои технологву иқтисодӣ, махсусан баланд намудани самаранокӣ ва паст намудани арзиши аслии истеҳсолии онҳо, бояд маводҳои нав ҷустуҷӯй ва коркард карда шаванд.

Сухан оиди маводҳои композистионие меравад, ки ба таври сунъӣ коркард шуда, аз ду ё зиёда ҷузъҳое иборат мебошанд, ки парметрҳои физикӣ ва химиявиашон байни ҳамдигар робита доранд. Чунин мавод дорои хосиятҳое наве мегарданд, ки дар алоҳидагӣ ҷузъҳои таркибиаш ин хоситҳоро надоранд. Хосиятҳои маводи композистионӣ асосан аз таркиби ҷузъҳо, таносуби миқдорӣ ва устувории робитаи байни ҷузъҳо вобаста аст. Тариби мавод аз аз матритса – ҳамчун унсури алоқамандкунанда ва мустаҳкамкунанда – ҳамчун унсури пурракунанда иборат аст. Унсури мустаҳкамкунанда хосиятҳои механикии заруриро ба мавод, аз қабили устуворӣ ва сахтӣ, пайдо мекунад. Матритса бошад кори муштараки унсурҳои мустаҳкамкунанда ва муҳофизат аз осеби механикӣ ва муҳити шадиди химиявиро таъмин мекунад. Илова ба ду ҷузъи асосӣ, таркиби мавод метавонад унсурҳои дигарро низ дар бар гирад, ки вазифаи изолятсия, муҳофизатӣ, радиопахшкунӣ, таъмини хосиятҳои зарурии магнитӣ, диэлектрикӣ ва дигар махсусиятҳоро иҷро менамоянд. Вобаста аз соҳаи татбиқ ва заруриятҳои технологиву истеҳсолӣ таркиб ва ҳаҷми ҷузъҳо интихоб гардида, истеҳсол карда мешаванд.

Маводҳои дар асоси композитҳо коркард шуда, ки аз ҷиҳати технологӣ пурсамар ба ҳисоб мераванд, дар соҳаҳои гуногуни саноат васеъ истифода мешаванд. Бозори ҷаҳонии маводҳои композитсионӣ дар соли 2020 муодили зиёда аз 85 миллиард доллари амрикоиро ташкил ташкил дод ва пешбинӣ мешавад, ки суръати миёнаи афзоиши солона шурӯъ аз соли

2021 на кам аз 6,6%-ро ташкил медиҳад. Тибқи маълумоти коршиносон дар давраи то соли 2030 талаботи афзуншаванда ба маводҳои композитсионии наву инноватсионӣ, аз ҷумла дар соҳаҳои сохтмон (зиёда аз 30%), мошинсозӣ ва нақлиёт (зиёда аз 30%), саноати энергетика (зиёда аз 15%), ҳамчунин робототехника, технологияҳои рақамӣ, авиатсия, кайҳон ва мудофиа пешбинӣ мешавад. Ҳамчунин бояд қайд кард, ки ҳамасола тақрибан зиёда аз 22% тамоми патентҳо дар ҷаҳон барои ихтироот дар соҳаи маводи композитсионӣ дода мешавад.

Раванди ба даст овардани маводҳои композитсионӣ – комплекси амалиётҳои мураккаби технологӣ мебошад, ки бо миқдори зиёди омилҳои ба хосиятҳои мавод таъсиркунанда алоқаманд аст. Аз ҷониби дигар, ҳосил кардани маводи устувор ва чандириаш баланд бо тарзу роҳҳои классикӣ, масалан аз ҳисоби хӯлакунӣ амалан кифоя нест. Зеро талабот нисбати сифату устувории маводҳои композитсионӣ рӯз аз рӯз бештар ва дақиқтар гашта, раванди коркарди онҳо истифодаи усулҳои махсуси технологиро талаб менамояд. Яке аз усулҳои муосири таҳқиқи хосияти маводҳои композитӣ дар моделҳои динамикӣ асос меёбад, ки хосиятҳои мавод бевосита бо ёрии моделсозии математикӣ баҳо ва тадқиқ карда мешавад. Вобаста ба ин, раванди умумии коркарди маводи композитсиониро дар шакли зерин овардан мумкин аст (Расми 1):



Расми 1. Пайдарпайии амалҳои тавсияшаванда дар раванди коркарди маводи композитсионӣ

Моделсозии компютерии таркиб, сохтор ва раванди пурраи истеҳсол ва истифодаи маводи композитсионӣ яке аз роҳҳои асосӣ дар ҳалли мушкилоти кам кардани хароҷоти коркарди онҳо мебошад. Тариқи моделсозии компютерӣ сохтори молекулавии маводи композитсионӣ ва хосиятҳои он бидуни хароҷотҳои амалӣ таҳқиқ карда мешаванд. Ин имкон медиҳад, ки як қатор қадамаҳои таҷрибаи амалӣ ихтисор шуда, вақт сарфа шавад. Инчунин, дар раванди моделсозӣ нуқсонҳои асосии маводи коркардшаванда пешгуӣ карда мешаванд ва ин ба мутахассисон имконият медиҳад, ки ба таҷрибаҳои амалӣ маълумоти бештар омода гардад. Илова ба ин, моделсозии компютерӣ имконият медиҳад, ки технологияҳои гуногуни истеҳсоли сохторҳои композитсиониро ба таври рақамӣ таҷриба

намуда, хосиятҳои зарурии маводи коркардшаванда қабл аз таҷрибаи амалӣ дақиқ баҳо ва пешгӯй карда шаванд. Дар ин ҳолат, вақти таҳияи лоиҳа ва навъҳои корҳои таҷрибавии маводи коркардшаванда ба таври назаррас кам карда шаванд. Бинобар ин, татбиқи моделсозии компютериро ҳамчун яке аз роҳҳои самараноктарин дар самти коркарди маводҳои композитсионӣ арзёбӣ намудан мумкин аст [1-3].

Дар айни замон, теъдоди зиёди барномаҳои моделсозии компютерӣ барои соҳаҳои гуногун дар самти коркарди маводи композитсиноӣ истифода мешаванд. Кори аксарияти барномаҳои мазкур ба усули унсурҳои охирнок ва фарқҳои ниҳоӣ (усули ададии ҳалли муодилаҳои дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ ва инчунин муодилаҳои интегралӣ) асос ёфтаанд, ки ҳангоми ҳалли масъалаҳои физикаи амалӣ ба вуҷуд меоянд. Ҳоло барномаҳои компютерии соҳаи мазкур ҳамчун – моделсозӣ дар саноат шарҳ дода мешаванд, ки баъзе аз намунам онҳо дар Ҷадвали 1 оварда шудаанд [4].

Ҷадвали 1.
Баъзе аз барномаҳои муосири моделсозӣ ва таҳқиқи маводи композитсионӣ

№	Барномаи моделсозӣ	Таъинот, имконият ва дараҷаи татбиқ
		Барномаҳо барои коркарди маводи композитсионӣ
1.	BIOVIA	Моделсозии молекулаҳои хурд, системаҳои биологӣ ва маводҳо; хемоинформатика ва биоинформатика; биологияи системавӣ ва терапияи интегративӣ; тадқиқоти муштараки шабакавӣ; коркарди илмии конвейерӣ; идоракунии лабораторияи корхона; танзим ва идоракунии сифат; раванди омӯзиш ва ҳамкорӣ; идоракунии захираҳои химиявӣ.
2.	CULGI	Химияи ҳисоббарор; моделсозии раванди механикии квантии ҷисмҳои сахт ва молекулаҳо; доираи васеи усулҳои назария функсионали зичӣ; динамикии молекулавӣ; таҳиягари сохтори атомӣ ва конструктори шакли аморфӣ; моделсозии системаҳои кимиёвии наносохторӣ ва микросохтории табиати сунъӣ ё биологӣ дошта; моделсозии динамикаи мезоскопии системаҳои мураккаби полимерӣ.
3.	Materials Design, Inc.	Ҳисоббарории сатҳи атомӣ ва наномиқёсӣ дар маводшиносӣ, беҳтар намудани хосияти мавод ва ҷустуҷӯи сохтори мавод бо хосиятҳои муайян.
4.	Schrödinger	Бастаи маводшиносӣ барои моделсозии системаҳои кимиёвӣ дар миқёси атомӣ; моделсозии маводҳо, молекулаҳои хурд ва намунаҳои биологӣ; моделсозии маҳсулоти биологӣ, доруворӣ ва сафедаҳо.
5.	Vienna Ab initio (VASP)	Маҷмӯа барои анҷом додани ҳисоббарориҳои механикии квантӣ пешбинӣ шудааст. Методологияи асосӣ – назарияи функсионали зичӣ (DFT) мебошад, аммо барнома инчунин имкон медиҳад, ки мубодилаи Хартри-Фок (масалан, HSE, PBE0 ё B3LYP), назарияи ошӯби ҷисмҳои зиёд (GW) ва коррелятсияҳои электронии динамикӣ дар доираи наздикшавии фазаи тасодуфӣ низ истифода бурда шаванд.
6.	WIEN2k	Барномаи компютерӣ, ки дар асоси забони барномарезии Фортран навишта шудааст ва ҳисобҳои механикии квантиро барои ҷисмҳои сахти даврӣ ичро мекунад. Он базиси пуррапотенсиалиро бо мавҷҳои ҳамвори васеъ ва орбиталҳои локалӣ [FP- (L) APW + lo] барои ҳалли муодилаҳои Кон-Шэм дар назарияи функсионали зичӣ истифода мебарад.

		Барномаҳо барои таҳқиқи маводҳои композитсионӣ
7.	ANSYS	Ҳалли масъалаҳои амалӣ ба монанди – усутворӣ дар зери таъсири гармӣ, таъсири майдонҳои магнитӣ ба устувории сохтор, интиқоли гармӣ ва масса дар майдони электромагнитӣ. Имкониятҳои барнома дар як қатор ширкатҳои маъмул истифода мешавад, аз ҷумла - BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, FIAT, Ford, General Electric, Lockheed Martin, Mitsubishi, Shell, Volkswagen-Audi ва баъзе ширкатҳои Федератсияи Россия.
8.	COMSOL	Моделсозии компютерии масъалаҳои гуногуни физикӣ – системаҳои электрикӣ, механикӣ, гидродинамикӣ ва кимиёвӣ, маводҳо дар ҳолати фишору деформатсия. Ҳисобҳои моделҳои COMSOL дар CAD, MATLAB ва автоматикунонии тарҳи электронӣ истифода шуда метавонанд.
9.	ABAQUS	Ҳисоби устувории турбомошинҳо ва тарҳрезии дастгоҳҳои ҳаракаткунанда, таҳлили кори узвҳои корӣ ва трансмиссияҳо, ҳисоб кардани пайвандҳои кафшершуда, таҳлили бархӯрдҳои садамавӣ бо моделсозии садама, моделсозии деформатсияҳои суперпластикӣ, гудозиши фулуз, хисобхои сохторҳои композитсионӣ, таъсироти мутақобилаи шумораи зиёди ҷисмҳо, таъсири сейсмикӣ, таъсири таркишҳо, гузарондани ҳисобҳои эътимоднокии реакторҳои ҳастаӣ, таҳлили қувваи қисмҳои электронӣ.
10.	ADINA	Барнома дар асоси усули унсурҳои ниҳоӣ, ки барои ҳисобҳои муҳандисии хатӣ ва ғайрихаттӣ истифода мешавад, кор мекунад. Халли масъалаҳои гармигузаронӣ дар ҷисмҳои сахт ва конструксияҳо; ҳисоби ҷараёни моеъи фишурдашаванда ва фишурданашаванда бо истифода аз дискретизатсияи ҳаҷм ва унсурҳои ниҳоӣ; гузаронидани моделиронии мултифизикӣ ва электростатикӣ.

Назарияҳои нисбатан боэътимоди моделсозии ададии таҳқиқи хосиятҳои маводҳои композитсионӣ – усули нақшаҳои фарқиятҳои ниҳоӣ ва усули унсурҳои ниҳоӣ мебошад. Усулҳои тадқиқ дар сатҳи атомӣ, ба монанди назарияи функсионалии зичӣ ва динамикаи молекулавӣ одатан барои таҳқиқи амиқ ва бунёдии системаи таҷрибашаванда истифода мешаванд ва барои ба даст овардани параметрҳои бештари сифатноки мавод бо усулҳои моделсозии дарозмуддат истифода шаванд.

Усули нақшаҳо бо фарқиятҳои ниҳоӣ имконият медиҳад, ки муодилаҳои физикаи математикӣ, новобаста аз он, ки ҳалли аналитикии онҳо ифшо шудааст ё не, бо саҳеҳияти баланд таҳқиқ карда шаванд. Яъне назарияи нақшаҳо бо фарқиятҳои ниҳоӣ имкон медиҳад, ки муодилаи дифференсиалӣ ба системаи охирноки муодилаҳои алгебрӣ табдил дода шуда, ҳалли онҳо бо истифодаи протсессорҳои ҳисоббарор тарҳрезӣ гардад. Барои навиштани нақшаҳои фарқӣ дар ибтидо майдони тағйирёбии доимии аргументро бо майдони тағйирёбии дискретии он иваз мекунанд. Аз ҷумла, барои навиштани нақшаи фарқии ҳосилаи дуюм аз се нуқта истифода бурдан мумкин аст:

$$\frac{d^2f}{dx^2}: \quad \frac{1}{h^2}(f_{x+h} - 2f_x + f_{x-h}).$$

Дар ҳолати мазкур, масалан, ҳосилаи дуюми энергия аз рӯйи ҳаҷм ва деформатсия

$$\left.\frac{\partial^2 E}{\partial V^2}\right|_{V=V_0}, \qquad \left.\frac{\partial^2 E}{\partial \epsilon^2}\right|_{V=V_0}$$

аз рӯйи қимматҳои умумии қаблан ҳисобшудаи ҳама атомҳо дар катакчаи элементарӣ тавассути нақшаҳо бо фарқиятҳои ниҳоӣ ҳисоб карда мешавад.

Ҳангоми омӯзиши масъалаҳои татбиқӣ назарияи нақшаҳо бо фарқиятҳои ниҳоӣ, мавҷудияти хосиятҳои аппроксиматсия, устуворӣ (саҳеҳият) ва охирнок муҳими мебошад. Мафҳуми аввал – хосияти аппроксиматсия маънои онро дорад, ки оператори фарқият ба оператори дифференсиалӣ наздик аст (вале ҳанӯз наздик будани ҳалли онҳоро дар назар надорад). Бояд дар хотир дошт, ки агар нақшаҳои фарқӣ муодилаи дифференсиалии муайянро аппроксиматсия намоянд, ин маънои онро надорад, ки он устувор аст, зеро хосияти устуворӣ хосияти дохилии схемаи фарқият мебошад. Охирнок будани нақшаи фарқӣ (мутобиқати ҳалли он ба ҳалли муодилаи дифференсиалии ибтидоӣ) бо шартҳои зерин таъмин карда мешавад (ҳангоми $|h| \to 0$) [5-7]:

- нақшаи фарқӣ бояд масъалаи дифференсиалии гузошташударо аппроксиматсия намояд;
- нақшаи фарқӣ устувор аст;

ва тартиби устуворӣ ба тартиби аппроксиматсия дар ин ҳолат мувофиқат мекунад.

Усули унсурҳои ниҳоӣ яке аз усулҳои ададии самараноки ҳалли масъалаҳои физикаи математикӣ мебошад, ки ҳолати системаҳои физикии сохтори мураккабро тавсиф мекунад. Ин усул дар ҳолатҳои ҳисобкунии системаҳои дорои конфигуратсияи мураккаби геометрӣ ва сохтори физикии номунтазам истифода мешавад. Хусусияти хоси усули унсурҳои ниҳоӣ бунёди оилаи функсияҳо мебошад, ки бо шумораи ниҳоии параметрҳо муайян карда шудаанд. Аслан, ин як усули ташкили муодилаҳои алгебрӣ дар асоси матритсаҳои элементҳо мебошад. Масалан, дар ҳолати ҳамвор, барои нуқтаҳои гирех, се, чор ё зиёда унсурҳо метавонанд ба як нуқта наздик шаванд (дар баъзе ҳолатҳо, ин метавонад ба аз даст додани хосияти наздикшавӣ оварда расонад). Усул барои зуд ба даст овардани натиҷаи аввалини ҳалли масъала хеле самаранок аст. Баръакси ин усул, дар усули нақшаҳои фарқиятҳои ниҳоӣ, ташаккули муодилаҳои алгебрӣ дар қолиб ҳангоми ба таври қатъӣ муайян кардани топологияи гирех ва ячейкаҳои ҳамсоя анҷом дода мешавад. Барои масъалаҳои ба таври назаррас ғайрихаттӣ, ин имкон медиҳад, ки дар координатҳои каҷхатта бо тартиби баландтар аппроксиматсия карда шавад.

Мақсади асосӣ аз тарҳрезии ададӣ дар чаҳорчубаи назарияи функсионалии зичӣ – ин ба даст овардани ҳалли тахминии муодилаи Шредингер барои атоми бисёрэлектрона мебошад, ки хосиятҳои ҳолати асосии системаро тавсиф медиҳад. Функсияе, ки дар ҳисобҳои назарияи функсионалии зичӣ истифода мешавад функсияи зичии электронҳост, ки он функсияи фазо ва вақт аст. Аз ҷумла, теоремаи Ҳоҳэнберг-Кон мегӯяд, ки энергияи умумии ҳолати асосии системаи бисёрэлектрона функсионали зичӣ аст. Энергияи умумии система аз рӯи якчанд ҳиссаҳои алоҳидаи энергетикӣ навишта мешавад, ки ҳар яки онҳо функсионали зичии заряд мебошанд:

• энергияи потенсиалии ион-электронӣ
• энергияи потенсиалии ион-ионӣ
• энергияи электрон-электронӣ
• энергияи кинетикӣ
• энергияи коррелятсияи мубодилавӣ.

Хулоса, усулҳои гуногун барои моделсозии компютерии таркиб, сохтор ва раванди пурраи истеҳсол ва истифодаи маводи композитсионӣ мавҷуд аст. Бо назардошти масъала ва ҳадафҳо имконияти баҳодиҳии хосиятҳои мавод ва коркарди маводҳои нави композитсиноӣ мавҷуд аст. Рушди соҳаи мазкур барои кишвари мо, ки дорои ҷавонҳои

боистеъдод дар соҳаи физикаю математика ва барномасозӣ мебошад самараи хуб хоҳад овард.

Адабиёт

1. G.Godec, K.Livesey. Computing the effective permittivity of composite materials using a finite difference method. American Journal of Physics 87, 465 (2019).
2. P.A. Radchenko et al. Numerical modeling of interaction of the aircraft engine with concrete protective structures. 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 946 012050.
3. E.G.Evseev, E.K.Morozov. Explicit finite difference method in the dynamic analysis of composite structures. Composite Structures Vol. 39, Nos 3-4, pp. 215-221, 1997.
4. V.A. Kovtyn, S.G. Korotkevich. Review of current application programs for research composite products Internet Journal "Technologies of Technosphere Safety" (http://ipb.mos.ru/ttb). Issue No. 1 (65), 2016/
5. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971. 553 с.
6. Гулин А.В. Необходимые и достаточные условия устойчивости трехслойных разностных схем // ЖВМ и МФ. 1968. Т. 8, № 4. С. 899–902.
7. Муминов Х.Х., Шокиров Ф.Ш. Математическое моделирование нелинейных динамических систем квантовой теории поля. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 375 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Ф. Шокир – *Аввалин Симпозиуми физикони Тоҷикистон дар таърихи соҳибистиқлолии кишвар* ……..... 3
Иштирокчиёни Симпозиум – *Эъломияи Симпозиуми физикони Тоҷикистон* ……..… 4
Ф. Шокир – *Первый Симпозиума физиков Таджикистана в истории независимости страны* ……..... 6
Участники Симпозиума – *Декларация Симпозиума физиков Таджикистана* …….. 7
F. Shokir – *The first Symposium of the physicists of Tajikistan in the history of the country's independence* ……..... 9
Participants of the Symposium – *Declaration of the Symposium of physicists of Tajikistan* 10
Ф. Раҳимӣ, С. Одинаев, Ҳ.Ҳ. Муминов, Т.Ҳ. Солиҳов, С.Ф.Абдуллоев, Ф.Шокир ва ҳайати кормандони ИФТ ба номи С.У. Умарови АМИТ – *Фаъолияти илмии академик Р.Марупов* ……..... 12
С. Одинаев, Д.М.Акдодов, Х.И.Идибегзода, Р. С. Мамадбегов, Шарифов Н. – *К молекулярной теории релаксационных процессов и явления переноса, упругих и диэлектрических свойств жидкостей и растворов электролитов* …….…. 18
Т.Х.Салихов, Н.Меликхуджа, А.Махмалатиф, Ю.П.Ходжаев – *К теории возбуждения основной гармоники нелинейного фотоакустического сигнала двухслойными образцами* ... 21
Исломов С., Лихтейнштейн Г.И., Марупов Р.М. – *Исследование взаимодействия хлопковых волокон с водой и уксусной кислотой методом эпр спиновых меток* …… 25
У.М. Маллабоев, Р.М. Умурзоков, А.Р. Умурзоков – *Диэлектрические свойства сильнополярного нематического жидкого кристалла в широком диапазоне радиочастот* 30
Умаров Н.Н., Абдуманонов А., Юсупов И.Х., Абдуллаев С.Ф. – *Влияния радиации на прочность стебля тростника* ……..... 34
Б.И.Махсудов, И.Х. Файзуллоев – *Зависимость оптических свойств композитов на основе полимер - жидкий кристалл от длины волны полупроводникового инжекционного лазера* ……..... 37
Рашидов Дж., Табаров С.Х., Туйчиев Л., Содиков Ф., Акназарова Ш.И., Дустов А.И. – *Влияние нанографенов на структуру и свойства некоторых полимеров* ……. 40
Махмудов Х.Ф., Афанасьев П.И., Юлдашев З.Ш. – *Распространение ударных волн и волн напряжений в горной породе* ……..... 43
Махмудов Х.Ф., Веттегрень В.И. – *Наносекундная динамика разрушения твёрдых гетерогенных тел ударными волнами* ……..... 48
И.Х. Юсупов, О.И. Юсупов, А.К. Бахдавлатов, К.А. Рузиев – *Влияние перекиси водорода при различных концентрациях на молекулярную структуру лекарственного растения девясил высокий (Inula Helenium L.) по данным метода спиновых меток* …. 53
Муллоев Н., Ходиев М. – *Межмолекулярные взаимодействия в молекулах производный триазола и его растворах по данным ик-спектроскопии и неэмпирические рассчетов.* 57
Каримов С.К., Эгамов М.Х., Абдуманонов А. – *Особенности механических свойств композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла* …….....…… 60
Лексовский А.М., Абдуманонов А.А., Азимов Ш.Ш., Абдуманонова Ф.А. – *Влияние структурных дефектов на прочность и процесс разрушения горных пород* …….. 63

Махсудов Б.И., Муллоев Н.У., Нигораи З. – *Влияние малых потоков тепловых нейтронов на ИК-спектр бактерий Rhizobium Phaseoli is Taas-80tj и Phosphaticum* …. 68
M.Subhoni, U.Zafari, A.M. Srivastava, M.G. Brik, T.Yamamoto – *Electronic and geometrical properties of MN^{4+} doped A_2XY_6 (A= K, RB, CS; X= SI, TI, NI, GE, SE, PD, SN, HF; Y=F, CL) phosphors* ……..... 72
Давлатмамадова С., Муллоев Н.У., Шукуров Т. – *Исследование спектральных характеристики составных частей горец птичий (polugonum aviculare l.) методом ИК спектроскопии* ……..... 73
Солихов Д.К., Рахмонов С.С. – *Решение нелинейного уравнения Шредингера с учётом диисспации* ……..... 75
Комилов К., Зарифзода А.К., Убайди А. *Упругие свойства магнитных жидкостей* .. 78
Маджидов Х., Исмонов Ф.Д. – *Динамической вязкости водных растворов диоксида титана* ……..……..... 81
Маджидов Х., Исмонов Ф.Д. – *Исследование плотности водных растворов диоксида титана* ……..... 84
Салихов Т. Х., Абдурахмонов А. А. – *Нестационарное поле температуры диэлектриков в поле импульса пучка ионов прямоугольной формы* .....…… 88
Маджидов Х., Шукрихудоев Х. – *Плотность пищевых масел и их растворов в зависимости от температуры* ……..... 91
Маджидов Х., Шукрихудоев Х. – *Теплоёмкость органических масел в зависимости от температуры при атмосферном давлении* ……..... 95
Зарифзода А.К., Бозорова Ю.К. – *О термическом модуле упругости двухкомпонентной магнитной жидкости* ……..... 99
Д.А. Абдушукуров – *Особенности распределения тяжелых металлов и радионуклидов в горных и прегорных районах республики таджикистан* …….....… 103
Умаров Н.Н., Абдуллаев С.Ф., Юсупов И.Х., Абдуманонов А. – *Содержание тяжёлых металлов в составе полыни горькой* ……..... 107
Низомов З., Турахасанов И.Т. – *Влияние масштабного фактора на охлаждения образцов из алюминия* ……..... 111
Шодиев Ш.Ш., Абдуллаев С.Ф. – *Сравнение содержания тропосферного озона в атмосфере Таджикистана осенью 2019 и 2020 года* ……..... 114
Салиев М.А. – *Мониторинг облачности местности по данным выработки электроэнергии солнечной фотоэлектрической установки* …… 116
Халифаева Ш. Х., Абдуллаев С. Ф., Рахматов М. Н. – *Статистический анализ содержания тяжеллых металлов в составе почв города Душанбе* 119
Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. – *О связи таяния ледника Медвежий с пылевыми вторжениями* ……..... 123
Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Лугмонова Ш.О. – *Аэрозольные предвестники землетрясения в Анапе 12.04.2021.I-Киев* ……..... 128
Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Лугмонова Ш.О. – *Аэрозольные предвестники землетрясения в Анапе 12.04.2021.II-Яссы* ……..... 131
Рахматов М.Н., Абдуллаев С.Ф. – *Соотношение содержания Pb, Zn и As в пробах почв и аэрозоля Худжанда с юго-восточной части Согдийской области* 133
С.Р.Шарипов, С.Ф.Абдуллаев, В.А.Маслов – *Катионный состав атмосферного аэрозоля г.Душанбе* ……..... 136

Ф. Холмуродов – *Нақши илм дар арсаи ҷаҳонӣ ва инкишофи ҷамъияти муосир* …..... 140
Шерматов Д.С. – *Организация обучения физике в медицинском образовании* …..... 143
Юлдашев З.Ш., Юлдашев Р.З., Хабибов А.Х. – *Энергообеспечения энерготехнологических процессов путём использования энергокомплекса* ……..... 147
Юлдашев Р.З., Юлдашев З.Ш. – *Интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития* ……..... 152
Арзикулов.Э.У., Салахитдинов Ф., Холмуродов Ф., Ташбоев М. – *Колебательные спектры в спиртно водных растворах* ……..... 158
Ф.Шокир, Э. Оқилов – *Усули фарқии ҳалли масъалаҳои физикаи математикӣ* ……. 163
И. Бобоҷонов, Р. Бахромзод, А. Мукумов, Қ.Азизшоев – *Эксперименти Помир: таърихи 50 сола ва дурнамои он* ……..... 166
И.Н. Ганиев, У.Ш. Якубов, К. Ботуров, М.Ш. Джураева, А.Г. Сафаров – *Коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного галлием* …… 171
Нематов Д.Д., Бурхонзода А.С., Хусенов М.А., Юлдашева Д.А., Станчик А.В., Холмуродов Х.Т., Любчик А. – *Структурные, электронные и оптические свойства смещенных нанокристаллов системы* $CU_2ZNSN(S_{1-X}SE_X)_4$ …..... 175
Бурхонзода А.С., Нематов Д.Д., Хусенов М. А., Холмуродов Х.Т., Любчик А. – *Теоретическое исследование структурных и электронных свойств наноразмерных систем* $ZRO_2:Y^{3+}$ *И* $ZRO_2:TI^{4+}$ ……..... 183
M.E. Akramov, S.M. Usanov, K.K. Sabirov, O.V. Karpova – *Optical second harmonic generation in branched waveguides* 186
Ф. Шокир, Ш.Ҳ. Ҳомидзода – *Оид ба моделсозии математикии сохтори маводҳои композитсионӣ* 192

Содержание……... 198

ИНСТИТУТИ ФИЗИКАЮ ТЕХНИКАИ БА НОМИ С.У. УМАРОВИ
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.У. УМАРОВА
Национальной академии наук Таджикистана

S.U. UMAROV PHYSICAL–TECHNICAL INSTITUTE
of the National Academy of Sciences of Tajikistan

МАВОДҲОИ
СИМПОЗИУМИ ФИЗИКОНИ ТОҶИКИСТОН
бахшида ба 85-солагии академик Р. Марупов

МАТЕРИАЛЫ
СИМПОЗИУМА ФИЗИКОВ ТАДЖИКИСТАНА
посвященного 85-летию академика Р. Марупова

PROCEEDINGS
OF THE SYMPOSIUM OF PHYSICISTS OF TAJIKISTAN
Dedicated to the 85th Anniversary of Academician R. Marupov

***