

ПАЁМИ
ДОНИШГОҶИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН
Бахши илмҳои табиӣ
2023. №4.

ВЕСТНИК
ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия естественных наук
2023. № 4.

BULLETIN
OF THE TAJIK NATIONAL UNIVERSITY
Series of natural sciences
2023. No.4.



*МАРКАЗИ
ТАБЪУ НАШР, БАҶГАРДОН ВА ТАРҶУМА
ДУШАНБЕ – 2023*

ПАЁМИ ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН
БАҲШИ ИЛМҲОИ ТАБИЙ

Муассиси маҷалла:

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон
Маҷалла соли 2012 таъсис дода шудааст.
Дар як сол 4 шумора нашр мегардад.

САРМУҲАҲРИР:

Хушвахтзода
Кобилҷон Хушвахт *Доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*

МУОВИНИ САРМУҲАҲРИР:

Сафармамадов *Доктори илмҳои химия, профессор, муовини ректор оид ба илми*
Сафармамад *Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*
Муборакшоевич

МУОВИНИ САРМУҲАҲРИР:

Исмонов *Номзади илмҳои филологӣ, дотсент, директори Маркази таъбу нашр, баргардон ва тарҷумои*
Кароматулло *Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*
Бадридинович

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ

01.01.01 – Математика

Рачабов Нусрат *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Рачабович *профессор*
Сабитов Камил *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Басирович *профессор, академики АИ Ҷумҳурии*
Бошқирдистон
Одинаев Раим *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Назарович *профессор*
Шабозов Мирғанд *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Шабозович *академик*
Сатторов *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Абдуманон *профессор*
Сатторович
Шерматов *Доктори илмҳои техникӣ, профессор*
Нурмаҳмад

Маҷалла ба Феҳристи нашрияҳои илми тақризиавандаи Комиссияи олии аттестационии Федератсияи Русия аз 03.06.2016, №1922 ворид гардидааст.

Маҷалла мақолаҳои илми соҳаҳои зерини илмро барои ҷоп қабул менамояд: **01.01.00 – Математика;** **01.04.00 – Физика;** **02.00.00 – Илмҳои кимиё.**

Маҷалла дар Индекси иқтибосҳои илмии Русия (РИИЦ) ворид карда шудааст ва пайваста дар системаи индексатсионии мазкур дар бораи шумораҳои ҷопшуда маълумот ворид менамояд.

Маҷалла бо забонҳои тоҷикӣ, русӣ ва англисӣ нашр мешавад.

Маҷалла сомонаи расми худро дорад, ки дар он матнӣ мукаммалӣ маводи ҷопӣ ҷойгир карда шудааст (www.vestnik-tnu.com).

Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.
Баҳши илмҳои табиӣ

– 2023. – №4.

ISSN 2413-452X

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон № 183/МҶ-97 аз 19.02.2021 ба кайд гирифта шудааст.

Маҷалла дар Маркази таъбу нашр, баргардон ва тарҷумои ДМТ барои нашр таҳия мегардад. Нишонии Марказ:

734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон,
ш. Душанбе, хиёбони Рудаки, 17.
Сомонаи маҷалла: www.vestnik-tnu.com
E-mail: vestnik-tnu@mail.ru
Телефон: (+992 37) 227-74-41

01.04.00 – Физика

Двинин Сергей *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Александрович *дотсент*
Солихов Давлат *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Куватович *профессор*
Махсудов Барот *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Исломович *профессор*
Рашидов Чалил *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Рашидович *профессор*
Абдуллоев Хасан *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Муминҷонович *профессор*
Комилов Қосим *Доктори илмҳои физикаю математика,*
профессор
Султонов Низом *Доктори илмҳои физикаю математика,*
Султонович *профессор*

02.00.00 – Илмҳои кимиё

Дегтев Михаил *Доктори илмҳои химия, профессор*
Иванович
Ҷураев Тухтасун *Доктори илмҳои химия, профессор*
Ҷураевич
Самихов *Доктори илмҳои химия, профессор*
Шонаврӯз
Мурзубраимов *Доктори илмҳои химия, профессор*
Бектемир
Мурзубраимович
Кустов Андрей *Доктори илмҳои химия, профессор*
Владимирович
Ибрагимов *Доктори илмҳои химия, профессор*
Дилшод
Суяров Курбонхон *Номзади илмҳои химия, дотсент*
Ҷураевич
Рачабов *Доктори илмҳои химия, профессор*
Сирочиддин

© ДМТ, 2023

**ВЕСТНИК ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
СЕРИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Учредитель журнала:

Таджикский национальный университет
Журнал основан в 2012 г. Выходит 4 раз в год.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА:

Хушвахтзода Кобилджон Хушвахт *Доктор экономических наук, профессор, ректор Таджикского национального университета*

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Сафармамадов Сафармамад Муборакшоевич *Доктор химических наук, профессор, проректор по науке Таджикского национального университета*

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Исмонов Кароматулло Бадридинович *Кандидат филологических наук, доцент, директор Издательского центра Таджикского национального университета*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

01.01.00 – Математика

Раджабов Нусрат Раджабович *Доктор физико-математических наук, профессор, академик АН РТ*

Сабитов Камил Басирович *Доктор физико-математических наук, профессор, академик АН Республики Башкортостан*

Одинаев Раим Назарович *Доктор физико-математических наук, профессор*

Шабозов Мирганд Шабозович *Доктор технических наук, профессор*

Сатторов Абдуманон Сатторович *Доктор физико-математических наук, профессор*

Шерматов Нурмахмад *Доктор технических наук, профессор*

01.04.00 – Физика

Двинин Сергей Александрович *Доктор физико-математических наук, доцент*

Солихов Давлат Куватович *Доктор физико-математических наук, профессор*

Махсудов Барот Исломович *Доктор физико-математических наук, профессор*

Рашидов Джалил Рашидович *Доктор физико-математических наук, профессор*

Абдуллоев Хасан Муминджанович *Доктор физико-математических наук, профессор*

Комилов Косим Султонов *Доктор физико-математических наук, профессор*

Низом Султонович *Доктор физико-математических наук, профессор*

02.00.00 – Химические науки

Дегтев Михаил Иванович *Доктор химических наук, профессор*

Джураев Тухтасун Джураевич *Доктор химических наук, профессор*

Самихов Шонавруз Мурзубраимов *Доктор химических наук, профессор*

Бектемир Мурзубраимович Кустов *Доктор химических наук, профессор*

Андрей Владимирович Ибрагимов *Доктор химических наук, профессор*

Дилшод Суяров *Кандидат химических наук, доцент*

Курбонхон Джураевич Раджабов *Доктор химических наук, профессор*

Сироджиддин *Доктор химических наук, профессор*

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки Российской Федерации от 03.06.2016, №1922.

Журнал принимает научные статьи по следующим отраслям науки: **01.01.00 – Математика; 01.04.00 – Физика; 02.00.00 – Химические науки.**

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), регулярно предоставляет в РИНЦ информацию в виде метаданных.

Журнал издается на таджикском, русском и английском языках.

Журнал имеет официальный сайт (www.vestnik-tnu.com), в котором размещаются полнотекстовые версии опубликованных материалов.

Вестник Таджикского национального университета.

Серия естественных наук.

– 2023. – №4.

ISSN 2413-452X

Журнал зарегистрирован в Министерстве культуры Республики Таджикистан. Свидетельство №183/ЖР-97, от 19.02.2021

Журнал подготавливается к изданию в Издательском центре ТНУ.

Адрес Издательского центра:

734025, Республика Таджикистан,

г. Душанбе, проспект Рудаки, 17.

Сайт журнала: www.vestnik-tnu.com

E-mail: vestnik-tnu@mail.ru

Телефон: (+992 37) 227-74-41

© ТНУ, 2023

BULLETIN OF THE TAJIK NATIONAL UNIVERSITY

Series of natural sciences

Founder of the journal:

TAJIK NATIONAL UNIVERSITY

The journal was established in 2012. Issued 4 times a year.

CHIEF EDITOR:

**Khushvahtzoda Kobiljon
Hushvaht**

Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector of the Tajik National University

DEPUTY CHIEF EDITOR:

**Safarmamadov
Safarmamad
Muborakshoevich**

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice-rector for Science of the Tajik National University

DEPUTY CHIEF EDITOR:

**Ismonov Karomatullo
Badridinovich**

Candidate of philology sciences, associate professor, director of the Publishing Center of the Tajik National University

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

01.01.00 - Mathematics

Rajabov *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician*
Nusrat Rajabovich
Sabitov Kamil Basirovich *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician*
Odinaev Raim Nazarovich *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
**Shabozov Mirgand
Shabozovich** *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician*
**Sattorov Abdumanon
Sattorovich** *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Shermatov Nurmahahmad *Doctor of Technical Sciences, Professor*

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific journals of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation from 03.06.2016, No. 1922.

The journal accepts scientific articles on the following scientific specialties: 01.01.00 - Mathematics; 01.04.00 - Physics; 02.00.00 - Chemical sciences.

The journal is included in the database of the Russian Scientific Citation Index (RSCI).

The journal is printed in Tajik, Russian and English languages.

Full-text versions of published materials are posted on the official website of the journal (www.vestnik-tnu.com).

01.04.00 - Physics

Dvinin Sergei *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor*
Aleksandrovich
Solihov *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Davlat Kuvatovich
Makhsudov *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Barot Isломovich
Rashidov *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Jalil Rashidovich
Abduloev *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Hasan Muminjanovich
Komilov Kosim *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Sultonov *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Nizom Sultonovich

02.00.00 - Chemical sciences

Degtev *Doctor of Chemical Sciences, Professor*
Mikhail Ivanovich
Juraev *Doctor of Chemical Sciences, Professor*
Tukhtasun Juraevich
Samihov Shonavruz *Doctor of Chemical Sciences, Professor*
Murzubraimov *Doctor of Chemical Sciences, Professor*
Bektemir Murzubraimovich
Kustov *Doctor of Chemical Sciences, Professor*
Andrei Vladimirovich
Ibragimov Dilshod *Doctor of Chemical Sciences, Professor*
Suyarov *Candidate of chemical sciences, associate professor*
Kurbonkhon Ouraevich
Rajabov Sirojiddin *Doctor of Chemical Sciences, Professor*

Bulletin of the Tajik National University.

Series of natural sciences

– 2023. – №4.

ISSN 2413-452X

The journal is registered in the Ministry of Culture of the Republic of Tajikistan, No.183\М\Б-97, 19.02.2021.

The journal is being prepared for publication in the Publishing Center of TNU.

Address of the Publishing Center:

17, Rudaki Avenue, Dushanbe, 734025, Republic of Tajikistan,

Web site of the journal: www.vestnik-tnu.com

E-mail: vestnik-tnu@mail.ru

Phone: (+992 37) 227-74-41

© TNU, 2023

МАТЕМАТИКА

ТДУ: 519.6(575.2)(043.3)

УСУЛҲОИ АМСИЛАСОЗИИ ДИНАМИКАИ ЭКОСИСТЕМАИ ОБАНБОРИ ПАСТОБИ ЭВТРОФӢ БО ҲУДУДҲОИ ТАӢИРИБАНДА

Комилиён Ф.С., Қосимов И.Л.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муқаддима. Проблемаи ҳифзи гуногунрангии намудҳои биологӣ ва устувории экологии маҳзанҳои обӣ аз зумраи проблемаҳои ба ҳисоб меравад, ки муносибат ба он бояд ҳамчун муносибат ба масъалаи калидии илм ва амалия бошад. Зимни ҳалли ин масъала ба таҳқиқ ва арзёбии ҳолатҳои экологии обанборҳои пастоби эвтрофӣ бояд диққати махсус зоҳир намуд, зеро онҳо навъи вижаи экосистемаҳои обиро ташкил дода, бо таркиби аз моддаҳои ғизоӣ ва фитопланктон бойи худ аз дигар экосистемаҳои маҳзанҳои обӣ ба кулӣ фарқ мекунанд.

Мутаассифона, то имрӯз аксар таҳқиқоти дар ин самт анҷомдодашуда барои арзёбии вазъи обанборҳои гузаронида шудаанд, ки ҳудудҳои (сарҳадҳои) онҳо доимӣ (тағйирнопазир) фарз карда шудааст. Аммо ин гуна таҳқиқотҳо тағйиротҳои воқеии дар муҳити атроф баамалояндаро пурра ба ҳисоб гирифта наметавонанд. Зеро ҳаҷм, масоҳат, сатҳи об ва ҳудудҳои обанборҳо ҳамеша дар ҳоли тағйирёбӣ қарор дошта, экосистемаи онҳо ба муҳити атрофи худ ҳатман ё таъсири мусбат ва ё таъсири манфӣ мерасонанд.

Аз ин рӯ, омӯзиш ва таҳқиқи динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда (ЭОПЭ бо ҲТ), ҳадафҳои истифодаи густурдаи онҳо, дақиқ сохтани вазифаҳои асосӣ ва таҳлили таъсири экосистемаи онҳо ба объектҳо ва системаҳои мухталифи муҳити атроф ва инчунин вобаста ба ҳалли масъалаҳои мувофиқ ба таври оптималӣ идора карда тавонистани речаҳои истифодаи онҳо масъалаи рӯзмарра (актуалӣ) ва таъхирнопазир мебошад.

Обанбор ҳамчун объекти таҳқиқот. Дар ҳолати умумӣ обанборро ҳамчун маҳзани оромии сунъие муаррифӣ кардан мумкин аст, ки маъмулан барои захира ва танзим намудани об дар маҷрои ягон дарё сохта мешавад.

Ба ғайр аз захира ва танзим намудани об, обанбор бо мақсадҳои гуногуни дигар низ истифода бурда мешавад: таъмини аҳоли ва истеҳсолот, мувофиқан, бо обҳои ошомиданӣ ва истеҳсолӣ, обҳои заминҳои кишоварзӣ, истеҳсоли қувваи барқ, ташкил ва рушд додани сайёҳии равишҳои варзишӣ, фароғатӣ ва табобатӣ, тавсеаи соҳаи моҳипарварӣ, ҳифзи муҳити зист, мубориза бо ҳодисаҳои обхезӣ, фавқулода ва ғайра.

Дар маҷмуъ байни маҳзанҳои оромии сунъӣ (обанборҳо) ва тамсилаҳои табиӣ онҳо (кӯлҳо) умумиятҳои зиёде мавҷуданд. Монандии онҳо, пеш аз ҳама, дар он зоҳир мегардад, ки ин маҳзанҳои обӣ гирдоваранда ва захиракунандагони (аккумулятори) массаҳои калони об мебошанд. Ҳар кадоме аз онҳо экосистемаи худро бо тарзи хоса ташаккул дода, аз муҳити атрофи худ дар шакли изолятсионӣ (ҷудокардашуда) нигоҳ медорад.

Аммо, бо вуҷуди ин обанборҳо аз кӯлҳо бо як қатор хусусиятҳои муҳими худ фарқ низ доранд. Муҳаққиқи маъруфи соҳаҳои биология ва экологияи амрикоӣ Юджин Одум (Eugene Pleasants Odum) фарқи асосии байни онҳоро бо тарзи сарфи буҷаи гармӣ алоқаманд доништааст [27].

Буҷаи гармии обанборҳо вобаста ба тарҳи дарғоти (сарбанди) онҳо масраф мегардад. Агар об аз қисмати поёнии (қаъри) обанбор содир шавад (ба мисли неругоҳҳои барқи обӣ), он гоҳ ба маҷрои дарёи поёни дарғот оби нисбатан хуноки камоксиген, вале таркибан бо моддаҳои биогенӣ бой ҷорӣ гашта, оби нисбатан гарми он дар ҳуди обанбор боқӣ мемонад. Ин навъи обанборҳо, баръакси кӯлҳо, захиракунандагони гармӣ ва содиркунандагони моддаҳои биогенӣ ба ҳисоб мераванд. Дар ҳолати аз қисмати болоии (сатҳи) обанбор содир гаштани об (ба мисли кӯлҳо), он ба захиракунандаи моддаҳои биогенӣ ва содиркунандаи гармӣ табдил меёбад. Маҳз дар ҳамин ҳолатҳо характери обпартоии обанбор метавонад ба маҷрои пасаздарғотии дарё ва муҳити атрофи он ягон таъсири мусбат ва ё манфӣ дошта бошад.

Дар натиҷаи бастании маҷрои дарё, захира ва танзим намудани оби обанбори бавучудода на танҳо дар нишондиҳандаҳои миқдорӣ, балки дар нишондиҳандаҳои сифатии экосистемаи он низ тағйиротҳои кулӣ ба вуҷуд меоянд. Амали маҷробандии дарё суръати обро коҳиш дода, боиси дигаргуншавии сохтори маҷроҳои оби мегардад. Раванди седиментатсияи (такшоншавии) моддаҳои қабатҳои об бошад, боиси бойшавии таркиби экосистемаи обанбор бо моддаҳои органикӣ ва ғизоӣ (биогенӣ) гашта, метавонад ба рушди нумӯи фитосенос ва фаъолнокии организмҳои оби такони ҷиддӣ бахшад.

Дар марҳилаҳои аввали ташаккулёбӣ ва рушди экосистемаи обанбор сифати оби он асосан аз таркиби хоки заминҳои зеробиомондаи маҳалҳо вобастагӣ дорад. Агар зимни бунёди обанбор заминҳои нисбатан ҳосилхез зери об монда бошанд, он гоҳ маҳсулнокии марҳилаҳои аввали рушди он метавонад ба қадри кофӣ баланд бошад. Дар чунин мавридҳо фаъолияти деструкторҳо (бактерияҳои таҷзиягар) пурсамар мегардад, таҷзияи набототи зеробиомонда вусъат меёбад ва таркиби оби обанбор бо унсурҳои биогенӣ бой гашта, дар натиҷаи оби обанбор ба «шукуфтан» мепардозад. Вале агар обанбор дар мавзеи заминҳои камҳосил бунёд гардад, он гоҳ дар экосистемаи он марҳилаҳои пурмахсул ба вуҷуд омада наметавонанд.

Хусусияти дигари экосистемаи обанбор ба мунтазам пасту баландшавии сатҳи об ва лаппишҳои саҳти мавҷии тасодуфию табиӣ ва истеҳсолии он алоқаманд мебошад, ки ин ҳолат барои экосистемаи кӯлҳо чандон маъмул нест. Масалан, тибқи таҳқиқотҳои мутахассисони соҳаҳои гидробиология, химия, экология, гидрология ва гидродинамика чуқурии обанбори пастоби эвтрофии «Баҳри Тоҷик» дар зарфи 9 моҳи соли тақвими 2 маротиба ва масоҳаташ 3 маротиба кам мегардад ва бо хотимаёбии қорҳои истеҳсоли, аз ҷумла обҳои заминҳо, интиқоли об ба обанборҳои баъдӣ, танзими сатҳи об бо мақсади истеҳсоли қувваи барқ ва инчунин бо мусоид гаштани вазъи обу ҳаво аз нав ба ҳолати муқаррарии худ бармегардад [18-19].

Ҳамин тариқ, тавсиф ва таҳлили хусусиятҳои экосистемаи обанборҳо ва муқоисаи онҳо бо вижагиҳои экосистемаҳои маҳзанҳои оби дигар баръало нишон медиҳад, ки рушди динамикаи онҳо аз ҳолати климаксӣ дур буда, пайваста дар ҳолатҳои ноустувор қарор доранд.

Вазъи мазкур ба раванди таҳқиқ, таҳлил ва пешгӯии рушди динамикаи экосистемаи обанборҳо ҳатман мушкилӣ эҷод мекунад, ки ин танҳо як тарафи ҷилваии масъаларо ташкил медиҳад. Тарафи дигари ҷилваии масъала дар он аст, ки муҳлати истифода ва фаъолияти экосистемаи обанборҳо ҳамагӣ якчанд даҳсола (40-60 сол)-ро ташкил медиҳад, дар ҳоле ки муҳлати фаъолияти масалан экосистемаи кӯлҳо як тартиб болотар аст.

Аз ин лиҳоз, барои арзёбии дуруст ва мукаммали тағйиротҳои миқдориву сохтори экосистемаи обанборҳо бавучудоянда зарур аст, ки баргузориҳои таҳқиқотҳо ҳарчӣ пештар, дар марҳилаҳои аввали ташаккулёбии онҳо (масалан, барои экосистемаи обанбори Роғун), ба роҳ монда шаванд.

Таснифбандии экосистемаи обанборҳо. Экосистемаи обанборҳо асосан аз рӯи тарзи пайдоиш, мақсади истифода, мавзеи географӣ, навъи муҳити обӣ, намудҳои наботот ва ҳайвонот, таъсири фаъолияти инсон ва дигар нишондиҳандаву хусусиятҳои гурӯҳбандӣ мекунад. Хусусиятҳои экологии обанборҳо вобаста ба мавзеи ҷойгиршавӣ, андоза ва дигар омилҳои берунию дохилии таъсиррасон метавонанд аз ҳамдигар хеле фарқ дошта бошанд.

Обанборҳо аз рӯи сатҳи трофикиашон низ гурӯҳбандӣ кардан ҷоиш аст, ки он мувофиқи миқдори моддаҳои ғизоӣ (биогенӣ), аз қабилҳои нитроген ва фосфори таркиби об муайян карда мешавад. Ин моддаҳо метавонанд аз манбаҳои гуногун, масалан, обпартовҳои манзилӣ, нуриҳои минералии аз заминҳои қорам тавассути соҳилҳои воридшуда, партовҳои саноатӣ ва ғайра ба обанборҳо ворид шаванд.

Таснифбандии обанборҳо аз рӯи сатҳи трофикӣ одатан ба нишондодҳои консентратсияи хлорофилли таркиби оби онҳо алоқаманд мегардонанд, ки ин тадбир аз мавҷудияти обсабзҳо ва дигар растаниҳои оби таркиби об дарак медиҳад. Агар

концентратсияи хлорофилли таркиби об ҳар қадар зиёд бошад, сатҳи трофикии обанбор ҳамон қадар баландтар мегардад.

Таснифбандии обанборҳо аз рӯи сатҳи трофики махсусан барои арзёбии ҳолати экосистемаи ин объектҳои обӣ ва андешидани тадбирҳои зарурӣ оид ба ҳифзу барқарорсозии онҳо муҳим мебошад. Ин навъи таснифот инчунин дар муайян кардани имкониятҳои истифодаи обанборҳо барои расидан ба мақсадҳои гуногун, аз қабилӣ таъмини оби нӯшоқӣ ба аҳоли, рушди соҳаи моҳипарварӣ ва ташкили истироҳату фароғат (рекреатсия) кӯмак мерасонад.

Нуктаҳои зикршуда ба таври равшан нишон медиҳанд, ки чӣ гуна омилҳои гуногун метавонанд хусусиятҳои экологии обанборҳо ва равишҳои таснифбандии онҳоро муайян созанд (расми 1):

1. Аз рӯи тарзи пайдоиш:

- табиӣ: бо роҳи табиӣ ба вуҷуд омадаанд, масалан, кӯлҳо ва ҳавзҳо;
- сунъӣ: бо роҳи сохтани дарғот ё сарбанд аз ҷониби инсон бунёд шудаанд, масалан, обанборҳо, каналҳо, ҳавзҳо ва бассейнҳои моҳидорӣ.

2. Аз рӯи мақсади истифода:

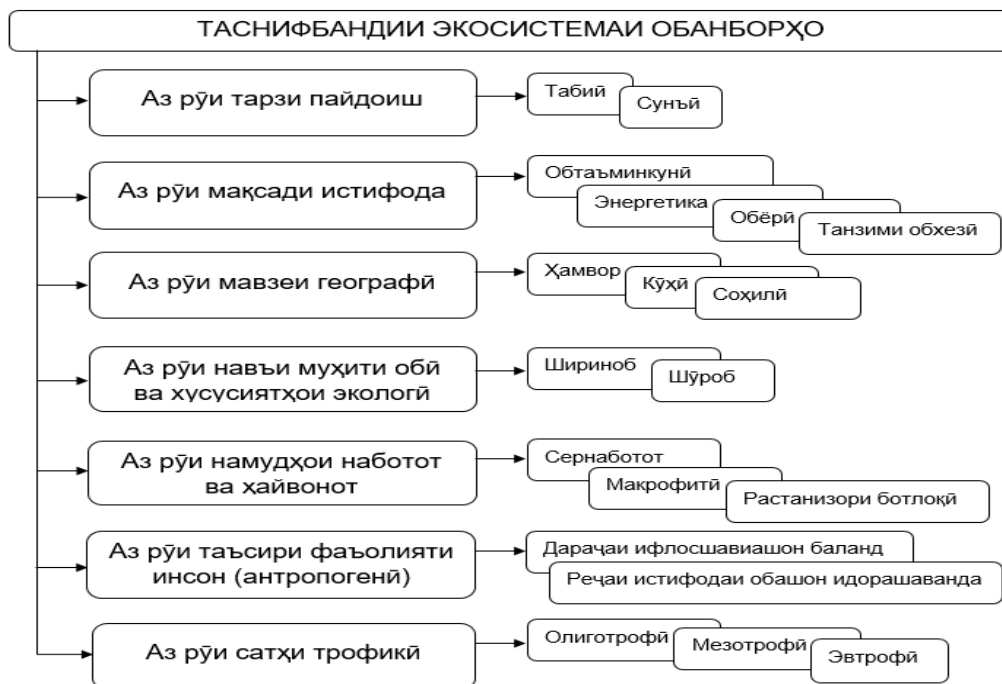
- обтаъминкунӣ: барои захира кардани обе, ки дар эҳтиёҷоти одамон ё саноат истифода мешавад;
- энергетика: барои тавлиди неруи барқ бо истифода аз неругоҳҳои барқи обӣ пешбинӣ шудаанд;
- обёрӣ: барои обёрии заминҳои кишоварзӣ хизмат мерасонанд;
- танзими обҳезӣ: тавассути танзими сатҳи об дар пешгирии ҳодисаҳои обҳезӣ истифода мешаванд.

3. Аз рӯи мавзеи географӣ:

- ҳамвор: дар маҷрои дарёҳо сохта шуда, барои танзими речаи об ва истеҳсоли электроэнергия истифода мешаванд;
- кӯҳӣ: дар минтақаҳои кӯхистон воқеъ гардида, барои таъмини об ва электроэнергия пешбинӣ шудаанд;
- соҳилӣ: дар соҳили баҳрҳо ё укёнусҳо ҷойгиранд ва бо мақсадҳои гуногун, аз қабилӣ сайёҳӣ, моҳидорӣ ва танзими сатҳи об истифода мешаванд.

4. Аз рӯи навъи муҳити обӣ ва хусусиятҳои экологӣ:

- шириноб: дорой оби тозаи ошомиданӣ буда, барои намудҳои гуногуни олами наботот ва ҳайвонот экосистемаҳои созгор (кӯлҳо, ҳавзҳо, обанборҳо) ба ҳисоб мераванд;
- шӯробр: дорой оби шӯр ва шароити хоссаи экологӣ (халиҷҳои баҳрӣ, лагунаҳо – ҳавзҳои, ки дар онҳо оби ширин бо оби шӯр омехта мегарданд) мебошанд, ки барои ҳаёт ва фаъолияти намудҳои нодири наботот ва ҳайвонот омилҳои басо муҳим ба ҳисоб мераванд.



Расми 1. Таснифи умумии экосистемаи обанборҳо
 Рисунок 1. Общая классификация водоемных экосистем
 Figure 1. General classification of reservoir ecosystems

5. *Аз рӯи намудҳои наботот ва ҳайвонот:*

- сернаботот: растаниҳои зиёди шинокунанда ва зеробӣ доранд, ки барои намудҳои гуногуни моҳӣ ва парандаҳои обӣ сарпаноҳ ва манбаи ғизо ба ҳисоб мераванд;
- макрофитӣ: дорои қамишзорҳои васеъ мебошанд, ки экосистемаро ба макони паноҳбарӣ ва дарёфти ғизо барои намудҳои гуногуни ҳашаротҳо, парандагон ва ширхӯрон табдил медиҳанд;
- растанизори ботлоқӣ: экосистемаи ин гуна обанборҳо беназир мебошанд, зеро дар онҳо ҷараёни ҳосилшавӣ ва ҷамъшавии моддаҳои органикӣ шиддатнок амалӣ гашта, ба гуногунрангии намудҳои наботот ва ҳайвонот меорад.

6. *Аз рӯи таъсири фаъолияти инсон (антропогенӣ):*

- дараҷаи ифлосшавиашон баланд: бо партовҳои истеҳсолӣ ё ахлотҳои маишӣ пур, ки ин ҳолат ба сифати об ва гуногунрангии намудҳои биологӣ таъсири манфӣ мерасонад;
- речаи истифодаи обашон идорашаванда: бо мақсадҳои гуногун, аз қабилӣ обтаъминкунӣ, ирригатсия, энергетика ва ғайра сатҳ ва сарфи оби обанбор аз тарафи инсон идора ва танзим карда мешавад.

7. *Аз рӯи сатҳи трофикӣ:*

- олиготрофӣ: Дар чунин обанборҳо консентратсияи моддаҳои ғизоӣ паст буда, консентратсияи хлорофилл ва растаниҳо маҳдуд аст. Оби онҳо маъмулан шаффоф ва дорои партовҳои ками органикӣ мебошад. Обанборҳои олиготрофӣ арзиши баланди экологӣ дошта, манбаи хуби оби нӯшокӣ ба ҳисоб мераванд.
- мезотрофӣ: Дар чунин обанборҳо сатҳи трофикӣ дар байни сатҳҳои олиготрофӣ ва эвтрофӣ ҷойгир аст. Онҳо дорои миқдори муътадили моддаҳои ғизоӣ, консентратсияи хлорофилл ва растаниҳо мебошанд. Бо сабаби мавҷудияти партовҳои органикӣ оби онҳо каме тираанг буда метавонад.
- эвтрофӣ: Дар чунин обанборҳо консентратсияи моддаҳои ғизоӣ баланд аст, ки боиси афзоиши интенсивии растаниҳо, аз ҷумла обсабзҳо мегардад. Оби онҳо метавонад тира ва аз сабаби таҷзияи шиддатноки партовҳои органикӣ бӯи бад дошта бошад. Дар обанборҳои эвтрофӣ аксаран мушкilotи сифати об эҳсос мегардад, ки ин ба кам гаштани захираҳои моҳӣ меорад.

Усулҳои амсиласозии математикии экосистемаи обанборҳо. Ба масъалаҳои арзёбии вазъ, истифода ва идоракунии экосистемаи обанборҳо маъмулан маҷмуи масъалаҳои дохил мешаванд, ки онҳо хоси дигар маҳзанҳои обӣ низ мебошанд: эвтрофикатсия, мубодилаи селҳои моддаҳо ва энергия, сифати об, танзими сатҳи об, ифлосшавии экосистема, маҳсулноки, речаҳои таъмини гази оксиген, худсофгардонии муҳити обӣ ва ғайра.

Аз ин рӯ, технологияҳои амсиласозии математикии экосистемаи обанборҳо ҳам бо технологияҳои амсиласозии экосистемаҳои кӯлҳо, ҳавзҳо, бассейнҳо ва дарёҳо аз бисёр ҷиҳат монанд мебошанд. Аммо зимни амсиласозии математикии экосистемаи обанборҳо зарурати тарҳрезӣ ва ҳалли масъалаҳои низ рӯи кор меоянд, ки онҳо танҳо хоси ин экосистемаҳо мебошанд: раванди лойиқапуркунии обанбор, таъсири даврии зеробмонии соҳилҳои обанбор, васеъ ва хурдшавии масоҳати обанбор, муайян намудани аҳамияти экосистемаи обанбор ҳамчун хоҷагии моҳипарварӣ, мавзеи рекреатсионӣ, объекти варзишӣ ва ғайра.

Зарурати баррасӣ, омӯзиш ва таҳқиқи масъалаҳои зикршуда дар китоби «Обанборҳои ҷаҳон» (Водохранилища мира) [4] ба таври хеле равшан ва пурра нишон дода шуда, дараҷаи таъсири имконпазири онҳо ба объектҳои муҳити атроф, масъалаҳои мониторинг ва таснифбандии экосистемаи обанборҳо аз рӯи нишондиҳандаҳо, хусусиятҳо ва меъёрҳои гуногун амалӣ гардонида шудаанд.

Дар ҳолати умумӣ ба экосистемаи обанбор ҳамчун ба экосистемаи маҳзани одии оби ошомиданӣ назар афканда, фарқи онро аз кӯл ва дигар маҳзанҳои обии табиӣ, ки барои таҳқиқу таҳлили онҳо аллакай теъдоди зиёди амсилаҳои математикӣ сохта шудаанд, ба эътибор нагирифтани мумкин аст. Дар ин ҳолат меъёри таснифбандии обанборҳо асосан аз дараҷаи пуррагии тасвири ҷисмии (физикии) онҳо вобаста аст.

Тасвири ҷисмии обанборҳо инчунин ба интихоби дастгоҳи математикии амсиласозӣ таъсири худро мегузорад.

Аз ин рӯ, зимни амсиласозии математикии экосистемаи обанборҳо тасвири равандҳои табииро бештар дар заминаи тасвири сохторино фазоии онҳо тарҳрезӣ намуда, маҷмӯи амсилаҳои мавҷударо шартан ба се гурӯҳ ҷудо мекунанд: нуқтавӣ, сегментӣ ва бефосила (фазой).

Агар зимни амсиласозӣ танҳо хусусиятҳои умумии экосистемаи обанбор, алоқамандиҳо ва вобастагиҳои байни компонентҳои он ва табодули одии моддаҳо ба ҳисоб гирифта шаванд, он гоҳ экосистемаи мазкурро якҷинса тасаввур карда, амсилаи математикии онро дар шакли системаи муодилаҳои дифференсиалии одии тартиби якум месозанд, ки маъмулан онро *амсилаи нуқтавӣ* меноманд:

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \vec{f}(\vec{N}, t),$$

$\vec{N} = \vec{N}(t)$ вектори тағйирёбандаҳои фазавии амсила.

Дар ин маврид, тағйиротҳои фазоии дар экосистемаи обанбори мазкур баамалояндаро начандон муҳим ҳисоб карда, ба сифати наздикшавии (қадами) якум ҳаҷми миёнаи обанборро қабул мекунанд.

Аз эътибор соқит намудани тақсимои фазой ё ҳарчӣ бештар сода тасвир намудани сохтори фазоии экосистема шароит ва имконият фароҳам меорад, ки дар амсила алоқамандиҳо ва таъсири байниҳамдигарии намудҳои биологӣ ва дигар унсурҳои экосистема ба таври муфассал ба ҳисоб гирифта шуда, равандҳои мураккаби экологӣ ва биогидрохимиявӣ тасвири бештар ёбанд. Маҳз барои ҳамин гуна ҳолатҳо экосистемаи обанбор ҳамчун як нуқта тасвир карда шуда, ҳалли масъалаи таҳқиқотӣ ҳам аз нуқтаи назари таҳлили сифатии математикӣ ва ҳам аз нигоҳи татбиқи компютерӣ тамоман осон мегардад.

Бояд зикр намуд, ки дар марҳилаҳои аввали ташаккулёбии усули амсиласозии нуқтавӣ муҳаққиқон бештар ба тарҳрезии экосистемаҳои маҳзанҳои обии ғайристратификатсионӣ (ба таври муътадил омехташаванда), масъалаҳои рушди маҳдуди популятсияҳои дар изолятсия парваришёбанда ва алоқамандиҳои экологии навъҳои «захира ва истеъмолкунанда», «даранда ва сайд» ва ғайра тавачҷуҳ зоҳир менамуданд. Масалан, беҳтарин намунаҳои татбиқи усули амсиласозии нуқтавино дар қорҳои таҳқиқотии олими амриқой Г.А. Райли (G.A. Riley) [34] ва муҳаққиқи канадавӣ Р.А. Фолленвайдер (R.A. Vollenweider) [37] пайдо намудан мумкин аст.

Муҳаққиқи экологияи баҳрҳо Гордон Артур Райли (Gordon Arthur Riley) ҳанӯз соли 1946 дар қори классиқии худ «Омилҳое, ки популятсияи фитопланктонро дар баҳри Бонки Георг идора мекунанд» алоқаи мутақобилаи байни фитопланктону зоопланктони экосистемаи маҳзани обиро бо баҳисобгирии таъсири омилҳои экзогенӣ (рӯшноии офтоб, ҳарорати об) тарҳрезӣ намудааст. Графикҳои динамикаи солони ин планктонҳо, ки бо ёрии амсилаи нуқтавӣ ҳосил шудаанд, сифатан бо графикҳои тавассути маълумоти таҷрибавӣ ҳосилшуда хеле наздиканд: ду қулла (баҳорӣ ва тирамоҳӣ) барои тасвири максимумҳои динамикаи биомассаи фитопланктон ва як қулла (тобистона) – барои зоопланктон.

Яке аз аввалин амсилаҳои нуқтавино назариявӣ таҳти унвони «Амсилаи математикии экосистемаи обӣ» соли 1966 аз тарафи муҳаққиқони рус Г.Г. Винберг ва С.И. Анисимов [3] таҳия гардидааст. Ба сифати тағйирёбандаҳои фазавии амсилаи нуқтавино мазкур концентратсияи 8 компоненти зерини экосистемаи обӣ интихоб шудаанд:

- ду намуди фитопланктон: истеъмолий (ғизои зоопланктон) ва ғайриистеъмолий;
- се намуди зоопланктон: даранда, истеъмолий (ғизои моҳӣ) ва ғайриистеъмолий;
- бактерия (деструкторҳо);
- детрит (моддаи органиқии ғайризинда)
- моҳӣ.

Ин муҳаққиқон дар асоси принципи энергетикӣ робитаҳои трофиқии байни компонентҳои экосистема ба таври муфассал таносубҳои гуногуни байни компонентҳои

зикршудаи махзани обиро таҳқиқ намудаанд. Тавассути амсилаи математикии таҳияшуда дар вурудгоҳи системаи таҳқиқотӣ ба маҳсули раванди фотосинтез ва дар баромадгоҳи он ба маҳсулоти ниҳоии ғизоӣ (моҳӣ) баҳо додан мумкин аст.

Олими шинохтаи рус Ю.М. Свирежев ва шогирдаш А.А. Воинов соли 1984 барои таҳлили сифатӣ ва назариявии раванди эвтрофикатсияи махзани обӣ амсилаи нуқтавиеро пешниҳод карданд, ки он динамикаи фитопланктон, ҷузъҳои биогенӣ, детрит ва гази дар об ҳалшудаи оксигенро саҳеҳ арзёбӣ карда метавонад. Бо сабаби дар он кам истифода шудани миқдори тағйирёбандаҳо, доштани имкониятҳои таҳлилий ва сифатан дуруст инъикос кардани динамикаи умумии экосистемаи обӣ муаллифони онро амсилаи «минималӣ» номгузорӣ кардаанд.

Дар ҳамон соли 1984 муҳаққиқони мазкур амсилаи муфассали нуқтавию компютериеро бо сохторҳои гуногуни трофикӣ таҳти унвони «Амсиласозии математикии экосистемаи ҳавзи моҳипарварӣ» таҳия намуданд, ки барои арзёбии ҳавзи оптималии моҳипарварӣ пешниҳод шуда буд. Амсилаи мазкур имитатореро мемонад, ки бо истифода аз қиматҳои оптималии функцияҳои идоракунии зерин метавонад ҳосили баланди моҳиро таъмин созад [36]:

- муайянкунии теъдоди оптималии маводи ибтидоии пойгоҳӣ (моҳичаҳои иловашаванда) барои ҳаҷми додасишудаи ҳавз;
- иловакунии ғизои оптималии шабонарӯзии моҳиҳо;
- иловакунии миқдори оптималии нуриҳои маъданӣ ва органикӣ;
- таъминкунии аэратсияи оптималии об;
- таъминкунии ҳарорати оптималии об барои парвариши моҳӣ.

Амсилаҳои тақлидии (имитатсионии) муфассалу калонҳаҷм дар байни амсилаҳои нуқтавӣ мавқеи хоса доранд. Ин гуна амсилаҳоро дар қорҳои таҳқиқотии олими даниягӣ Свен Эрик Йоргенсен (Sven Erik Jørgensen) хеле зиёд вохӯрдан мумкин аст, ки бештари онҳо ба амсиласозии экосистемаҳои ду кӯли Дания бахшида шудаанд. Амсилаҳои баъдии ин кӯлҳо тақлиди амсилаҳои қаблии онҳо мебошанд. Амсилаи тақлидии дар соли 1976 рӯи қор омадаи ин кӯлҳо бо ёрии системаи 17 муодилаи дифференсиалии одӣ тасвир ёфта, тавассути маҷмӯи калони маълумоти таҷрибавӣ идентификатсия (танзим) ва верификатсия (санҷида) карда шудааст [32].

Амсилаҳои нуқтавии муфассали математикию компютерӣ тақлиди минбаъда ва ҷамъбасти умумикардасишудаи худро дар таҳқиқотҳои дар солҳои гуногун (1981-2023) анҷомдодаи мактаби илмии олими тоҷик Ф.С. Комилиён (Комилов) ёфтаанд, ки онҳо асосан ба тарҳрезии тақлидии экосистемаҳои обанборҳо, ҳавзҳо ва бассейнҳои моҳипарварии минтақаи гуногуни Тоҷикистон бахшида шудаанд [5-6, 9-23].

Яке аз амсилаҳои нуқтавии муфассали компютерӣ, ки шогирдони мактаби илмии мазкур таҳия намудаанд, ба омӯзишу таҳқиқ ва пешгӯии динамикаи моҳиҳои экосистемаи обанбори пастоби эвтрофии «Баҳри Тоҷик» бахшида шудааст. Дар ин амсилаи популятсияи моҳиҳои экосистемаи обанбор аз рӯи тарзи дарёфти ғизои «дӯстдошта» ва гузариши онҳо ба ғизоҳои «ивазӣ» ва «ичборӣ» ба гурӯҳҳо ҷудо карда шуда, дар он тамоми дастовардаҳои муосири усулҳои амсиласозии компютериӣ экосистемаҳои махзанҳои обӣ истифода шудаанд [5, 10, 13, 15-16, 18-21].

Ҳамин тариқ, умумияти тамоми амсилаҳои нуқтавии экосистемаи обанборҳо дар яқинса будани муҳити обии ин экосистемаҳои таҳқиқотӣ ифода меёбад. Агар хусусиятҳои экосистемаи таҳқиқотӣ баҳисобгирии одии ғайри яқинса будани муҳити обии он ва дар сохтори он ҷудо намудани зерсистемаҳои яқинсаро талаб кунад, он гоҳ аз усули амсиласозии сегментӣ истифода мебаранд.

Зимни истифодаи усули амсиласозии сегментӣ экосистемаи обанбори таҳқиқотӣ ба n зерсистемаи (сегменти) сохтори яқинса тақсим карда шуда, бо баҳисобгирии қимати миёнаи тағйирёбандаҳои онҳо барои ҳар кадомашон амсилаҳои хусусии нуқтавӣ сохта мешаванд:

$$\frac{d\vec{N}_i}{dt} = \vec{f}_i(\vec{N}_i, t),$$

$\vec{N}_i = \vec{N}_i(t)$ – вектори тағйирёбандаҳои фазавии амсилаи сегменти i -юми обанбор, $i = 1, 2, \dots, n$ – рақамҳои сегментҳо.

Дар ин маврид мубодилаи сели моддаҳои экосистемаи обанбор бо ёрии ҷараёнҳои массаи об, ҳаракати организмҳои обӣ ва тавассути ҳудудҳои моеъи байни сегментҳо амалӣ гардонида шуда, гузариши концентратсияи онҳо аз як сегмент ба сегменти дигари экосистема ба тағйирёбии ҷаҳишмондани онҳо оварда мерасонад.

Намунаҳои барҷастаи амсилаҳои сегментии экосистемаҳои маҳзанҳои обиро дар қорҳои таҳқиқотии муҳаққиқони зерини ватанӣ ва хориҷӣ вохӯрдан мумкин аст:

- амсилаи барои экосистемаи баҳри Азов таҳиянамудаи А.Б. Горстко – 7 сегмент [7];
- амсилаи барои экосистемаи кӯли Онега таҳиянамудаи Н.К. Лукянов ва Ю.М. Свирежев – 5 сегмент [25];
- амсилаи барои экосистемаи кӯли Балатон таҳиянамудаи Ю.М. Свирежев, А.А. Воинов ва А.П. Тонких – 16 сегмент [29];
- амсилаи барои экосистемаи кӯли Балатон таҳиянамудаи А.В. Леонов – 4 сегмент [18];
- амсилаи барои экосистемаи чуқуроби олиготрофии кӯҳии обанбори Норак таҳиянамудаи Ф.С. Комилийн (Комилов) – 4 сегмент [6, 20-22];
- амсилаи барои экосистемаи пастоби эвтрофии ҳамвори обанбори Қайроққум таҳиянамудаи Ф.С. Комилийн (Комилов) ва И.М. Саидзода (Саидов) – 5 сегмент [5, 15, 18-19].

Аз усули амсиласозии сегментӣ зимни тарҳрезии ҳам экосистемаҳои маҳзанҳои оромоб (обанборҳо, кӯлҳо, ҳавзҳо) ва ҳам экосистемаҳои маҳзанҳои равноб (дарёҳо, ҷўйборҳо, каналҳо, бассейнҳо) истифода мебаранд. Аз рӯи зарурат дар амсилаҳои сегментӣ хусусиятҳои сиркулятсионӣ ва маҷроии об, махсусиятҳои омехташавии моддаҳо дар сегментҳои алоҳидаи экосистемаи обӣ ва дигар омилҳоро ба ҳисоб гирифтани мумкин аст.

Дар замони муосир ба туфайли рушди илми экологияи математикӣ, технологияҳои иттилоотӣ ва рӯи қор омадани усулҳои тавонои амсиласозӣ, аз як тараф ва бо зуҳури дархостҳои амалӣ, аз тарафи дигар, гузариш аз амсиласозии нуқтавӣ ба сегментӣ ва аз он ба амсиласозии «бефосила» ба вуқӯъ пайваста истодааст.

Амсिलाҳои бефосилаи экосистемаи обанборҳо, чун қоида, бо истифода аз истилоҳоти муодилаҳои дифференциалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ таҳия карда шуда, дар онҳо интиқоли массаи компонентҳои экосистема аз як мавзё ба мавзеи дигари он бо ёрии муодилаҳои конвексия (ҷараёни об) ва адвексия (диффузияи турбулентӣ) тасвир карда мешаванд.

Қисми зиёди муҳаққиқони соҳа зимни ин навъи амсиласозӣ аз алгоритми зерин истифода мебаранд:

- *якум*, барои экосистемаи обанбор амсилаи нуқтавие месозанд, ки он равандҳои хусусии экологӣ ва биологии онро дуруст инъикос карда тавонад:

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \vec{f}(\vec{N}, t),$$

$\vec{N} = \vec{N}(t)$ – аз нав вектори тағйирёбандаҳои фазавии амсилаи нуқтавӣ;

- *дуюм*, бо истифода аз натиҷаи мушоҳидаҳои таҷрибавӣ ё ҳал намудани масъалаи гидродинамикӣ майдони суръатҳои обанбор $\vec{V}(x, y, z, t)$ -ро меёбанд;
- *сеюм*, бо истифода аз шартҳои аввала ва канорӣ амсилаи бефосилаи (дар фазо тақсимшудаи) экосистемаи обанборро месозанд:

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \vec{V} \text{grad} \vec{N} = \text{div}(D \text{grad} \vec{N}) + \vec{f},$$

D – матритсаи коэффитсиентҳои диффузия.

Намунаи равшани навъи амсиласозии бефосилаи экосистемаи маҳзани обӣ дар монографияи Ю.М. Свирежев ва Д.О. Логофет «Устувории ҷомаҳои биологӣ» (1978) оварда шудааст, ки бо номи «Тарҳрезии математикии тақсимоти амудии фитопланктон»

машхур аст [30]. Дар ин чо барои ду варианти масъалаи гидродинамика (конвексия ва адвексия) аз рӯи вобастагии экологии навъи «захира ва истеъмолкунанда» ду амсилаи хеле сода ва таҳлилшавандае пешниҳод гардидааст, ки онҳо тарзи дар фазо ташаккул ёфтани тақсимооти статсионари биомассаи фитопланктонро тасвир менамоянд.

Инчунин дар монографияи мазкур барои омӯзиш ва таҳқиқи сифатии экосистемаҳои обӣ муаллифон намунаи барҷастаи татбиқи амсилаҳои таҳлиро пешкаш намудаанд. Онҳо дар заминаи назарияи занҷираҳои трофикии таҳиянамудаи худ барои экосистемаи гармчашмаҳои Силвер Спрингси ИМА амсилаи математикӣ сохта, бо таҳлилҳои назариявӣ собит намудаанд, ки ба экосистема интродуксияи намуди нави биологии дар сатҳи панҷуми трофикӣ қарордошта ғайри имкон мебошад [30].

Муҳаққиқи дигари рус Н.С. Печуркин низ дар монографияи «Микробиологияи популятсионӣ» (1978) барои омӯзиш ва таҳлили рушди популятсияҳои гуногуни микробиологӣ якчанд амсилаҳои таҳлилӣ пешниҳод намудааст. Амсилаҳои таҳиянамудаи ин муҳаққиқ аз дигар амсилаҳои экосистемаҳои обӣ бо он фарқ мекунанд, ки дар онҳо маълумотҳои таҷрибавӣ ҳамонвақтаи ба соҳаи микробиология бахшидашуда ба таври васеъ истифода шудаанд. Истифодаи амсилаҳои мазкур шароити муҳайё сохтанд, ки бисёр ҳолатҳои табиӣ ба лаппиши омилҳои муҳити атроф алоқамандбуда, раванди ивазшавии унсурҳои маҳдудкунандаи сабзиши набототи обӣ ва тағйиротҳои гуногуни таҳаввулотӣ дар муҳити озмоишгоҳӣ тарҳрезӣ карда шаванд ва бо ҳамин васила ин амсилаҳо идентификатсия (танзим) ва верификатсия (санҷиши) муфассалро гузаранд [28].

Олимони ҷопонии соҳаи гидроэкология М.Сузуки, А.Оучи ва Ҷ.Фукуока (M. Suzuki, A. Ouchi, J. Fukuoka) соли 1979 бо ёрии амсилаи математикии хеле содасохти экосистемаи обӣ, ки ҳамагӣ се тағйирёбанда (ҷузъҳои биогенӣ, фитопланктон ва зоопланктон)-ро дар бар мегирифт, имконияти аз ҳисоби ноустувории диффузионӣ ба вучуд омадани «доғҳои шукуфон»-и фитопланктонро фаҳмонида тавонистанд. Онҳо барои таҳқиқи системаи се муодилаи дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ усулҳои таҳлили дастӣ ва озмоиши компютери бо ҳам омезиш дода, сабаби рӯҳ додани ноустувории диффузиониро муайян карданд. Тибқи андешаи муаллифон ва натиҷаҳои адабии бадастомада, барои бавучуд омадани ноустувории диффузионӣ зарур аст, ки концентратсияи зоопланктон нисбат ба концентратсияи фитопланктон дар муҳити экосистемаи обӣ 100 маротиба зудтар паҳн шавад, ки дар амалия иҷрои он аз эҳтимол дур аст [35].

Умуман, ҷӣ бо ёрии усули таҳлили математикӣ ва ҷӣ усули озмоиши компютерӣ таҳқиқ намудани ҳатто амсилаи бефосилаи одитарини экологӣ ба мушкилӣ меорад. Дар байни намунаҳои нисбатан муваффақи амсилаҳои гидроэкологии мураккаб метавон танҳо як амсилаи математикиро ҳамчун кори таҳқиқотии баҳадафрасида ном бурд, ки он аз тарафи олими маъруфи рус В.Ф. Крапивин барои омӯзиши экосистемаи уқёнус сохта шудааст [24].

Яке аз мушкилоти амсилаҳои бефосила дар он ифода меёбад, ки ҳангоми нисбатан калон будани андозаи вектори тағйирёбандаҳои амсила ва дученака ё сеченака ҳисобидани фазои экосистемаи таҳқиқотӣ ҳатто ёфтани ҳалли компютери масъала бо душворӣ ба даст меояд. Барои идентификатсия ва верификатсияи онҳо бошад, зарурати истифодаи маҷмуи калони маълумоти таҷрибавӣ пеш меояд. Дарёфти ин гуна маълумот, чун қоида, машғулияти бисёр душвор ва баъзан иҷронашаванда мебошад.

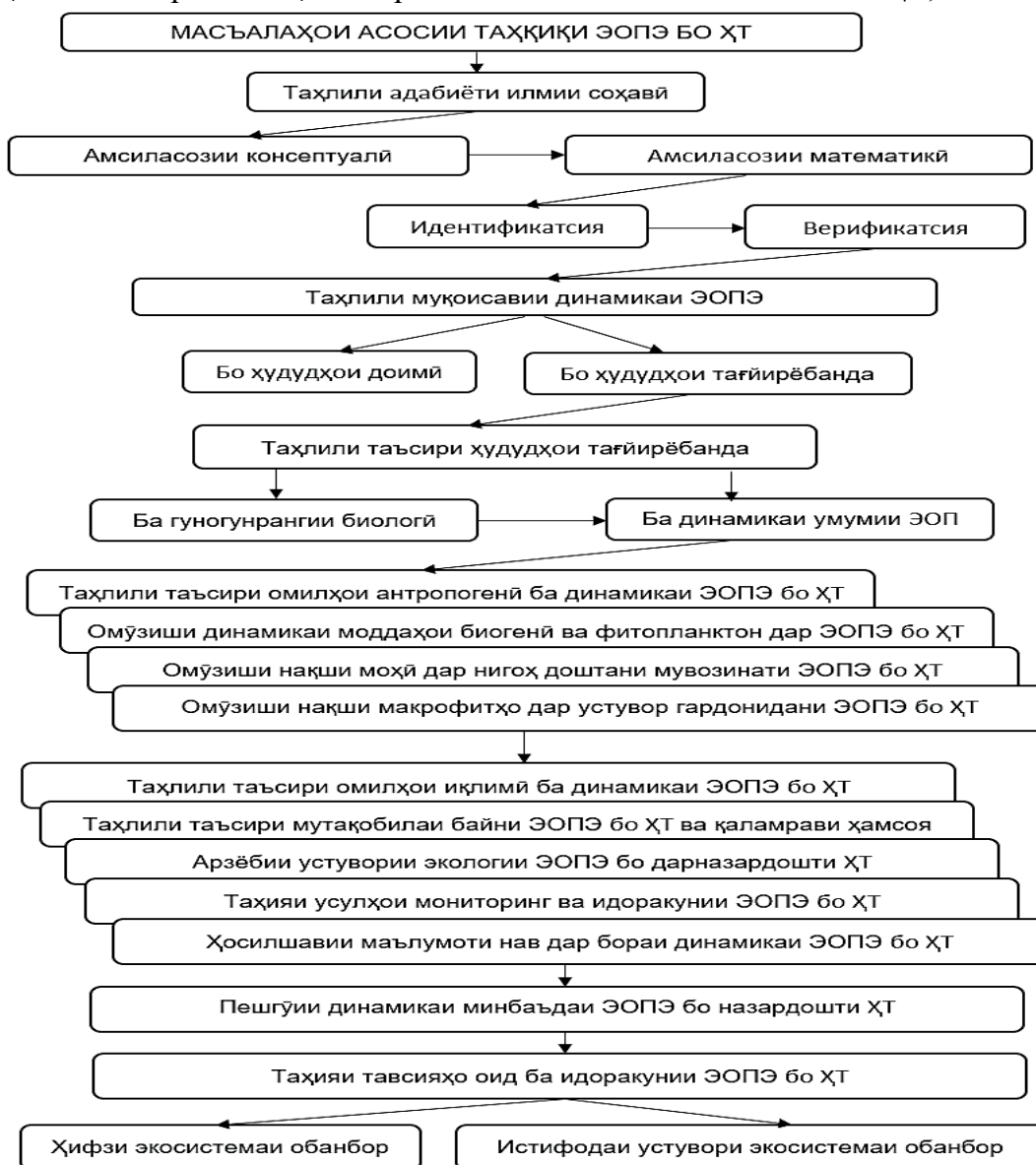
Барои ҳамин ҳам амсиласозии навъи бефосиларо асосан барои таҳлили равандҳои хусусии экосистемаҳо истифода мебаранд: паҳншавии «доғҳои шукуфони» фитопланктон – С.Э. Йоргенсен (S.E. Jorgensen) [32], паҳншавии ифлоскунандаҳои ғайрифасол – В.Н. Дерябин [8], В.А. Баранник ва Ю.М. Плис [2], А. Брандстеттер, Р. Бака, А.Ф. Гасперлино (A. Brandstetter, R.G. Vaca, A.F. Gasperlino) [31].

Аммо бояд зикр намуд, ки меъёрҳои таҳлилӣ ва таснифии дар ин чо овардашуда бештар хусусияти физикӣ доранд, на экологӣ. Ин нукта ишора ба он аст, ки суръати рушди экологияи назариявӣ ҳоло дар сатҳи хеле паст қарор дорад. Қонунҳои ҷамъбастии экологӣ ва меъёрҳои умумикардашудае, ки бояд дар амсилаҳои математикӣ инъикоси

худро ёфта тавонанд, ҳанӯз ба таври кофӣ кор карда баромада нашудаанд. Кӯшишҳои то имрӯз анҷомдодаи муҳаққиқон доир ба таснифбандии амсилаҳои математикии экосистемаҳои маҳзанҳои обӣ аз рӯи аломатҳои биологӣ ё экологикӣ ягон дихотомияи онҳоро пешниҳод накарда, танҳо тасвири амсилаҳои мавҷударо ба низом оварда тавонистаанду бас [1].

Ҳадафи таҳқиқи экосистемаи обанбори пастоби эвтрофӣ (ЭОПЭ). Мақсади асосии таҳқиқи ЭОПЭ аз таҳлили таъсири ҳудудҳои (сарҳадҳои) тағйирёбанда ба гуногунрангии биологӣ ва устувории экологии обанборҳои пастоби эвтрофӣ иборат аст. Барои ба ин ҳадаф расидан зарур аст, ки масъалаҳои зерини мустақим ва ёрирасон ҳал карда шаванд (расми 2):

- омӯзиш ва таҳлили таҳқиқотҳои мавҷуда дар соҳаи мазкур;
- гузаронидани таҳлили муқоисавии динамикаи ЭОПЭ бо ҳудудҳои доимӣ ва тағйирёбанда;
- сохтани амсилаҳои концептуалӣ ва математикии ЭОПЭ бо ҲТ, идентификация (танзими коэффициентҳо ва параметрҳо) ва верификация (санҷиши дурустии кор) намудани амсила, таҳқиқи натиҷаҳои пешгӯии амсила оид ба тағйироти имконпазири (потенциалии) дар экосистемаи обанбор бавуқӯъоянда;
- таҳлили таъсири ҳудудҳои тағйирёбанда ба гуногунрангии биологӣ ва ва динамикаи ЭОПЭ;
- таҳлили таъсири омилҳои антропогенӣ ба динамикаи ЭОПЭ бо ҲТ;



Расми 2. Масъалаҳои таҳлили таъсири ҳудудҳои тағйирёбанда ба гуногунрангии биологӣ ва устувории экологии обанбори пастоби эвтрофӣ

Рисунок 2. Проблемы анализа влияния изменения территорий на биологическое разнообразие и экологическую устойчивость эвтрофного низменного водоема

Figure 2. Problems of analyzing the impact of changing territories on biological diversity and ecological stability of a eutrophic low-lying reservoir

- омӯзиш, таҳқиқ ва таҳлили динамикаи моддаҳои ғизоӣ (биогенӣ) ва фитопланктон дар ЭОПЭ бо ҲТ;

- арзёбии устувории экологии ОПЭ бо дарназардошти ҲТ;
- омӯхтани нақши моҳӣ дар ниғаҳдории мувозинати ЭОПЭ бо ҲТ;
- омӯхтани нақши макрофитҳо дар устувории ЭОПЭ бо ҲТ;
- таҳлили таъсири омилҳои иқлимӣ ба динамикаи ЭОПЭ бо ҲТ;
- арзёбии таъсири мутақобилаи байни ЭОПЭ бо ҲТ ва қаламрави ҳамсоя;
- таҳияи усулҳои мониторинг ва идоракунии ЭОПЭ бо ҲТ;
- таҳияи усулҳои пешгӯии динамикаи минбаъдаи ЭОПЭ бо ҲТ.

Дар натиҷаи ҳалли масъалаҳои мазкур дар назар аст, ки доир ба динамикаи экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда маълумотҳои (иттилооти) нави илмӣ ба даст меоянд ва онҳо зимни таҳияи тавсияҳои идоракунӣ ва маъмурий роҷеъ ба ҳифз ва истифодаи устувори ин навъи экосистемаҳо ба таври васеъ истифода мешаванд.

Хусусиятҳои обанбори пастоби эвтрофӣ (ОПЭ). Обанбори пастоби эвтрофӣ як навъ обанборест, ки чуқурии начандон калон ва миқдори зиёди моддаҳои ғизоӣ (нитратҳо, фосфатҳо ва ғайра) дорад. Экосистемаи он дорои хусусиятҳои зерин мебошад:

- умқи паст (маъмулан, чуқурии аз 10 метр камтар);
- миқдори зиёди маводи ғизоӣ (моддаҳои биогенӣ);
- аз растанӣ ва микроорганизмҳо бой;
- эҳтимоли амалӣ гаштани раванди эвтрофикатсия;
- паст будани сифати об;
- ба амал омадани раванди таҷзияи детрит;
- паст будани сатҳи оксиген дар қабатҳои поёнии об;
- ба вучуд омадани газҳои бадбӯӣ (масалан, сулфиди гидроген) ва ғайра.

Умуман, обанборҳои пастоби эвтрофӣ аз ҷиҳати экологӣ осебпазир буда, аз нигоҳи муҳофизат ва барқарорсозии экосистемаҳояшон ба таваҷҷуҳи махсус эҳтиёҷ доранд.

Аҳамияти омӯзиши динамикаи ЭОПЭ. Омӯзиши динамикаи экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофӣ барои дарки имконоти гуногунҷабҳаи онҳо, ба танзим овардан ва идоракунии оптималии захираҳои обӣ ва биологӣ аҳамияти басо калон дорад. Донишмандони омилҳои, ки ба рушд ва тағйирёбии вазъи ин навъи обанборҳо таъсир расонида метавонанд, дар андешидани чораҳои муассир барои ниғаҳдорӣ ва барқарорсозии экосистемаи онҳо муфид мебошад.

Яке аз мушкилоти асосие, ки маъмулан обанборҳои пастоб бо он рӯ ба рӯ мешаванд, раванди эвтрофикатсия – шиддат гирифтани речаи ғизоии экосистемаҳои онҳо ба ҳисоб меравад. Эвтрофикатсия (калимаи юнонии εὐτροφία – ғизои хуб) раванди сершудани экосистемаи обанбор бо моддаҳои ғизоӣ (аз меъёр зиёд гаштани концентратсияи онҳо дар таркиби об) мебошад, ки ба афзоиши ҳосилнокии биологӣ экосистема боис мегардад.

Эвтрофикатсия метавонад натиҷаи ҳам тағйироти табиӣ маҳзани обӣ ва ҳам таъсири омилҳои антропогенӣ бошад. Омӯзиши динамикаи экосистемаи обанбор имкон медиҳад, ки манбаъҳои моддаҳои ғизоӣ, ки ба он ворид мешаванд, муайян ва таҳти назорат гирифта шуда, барои коҳиш додани раванди ифлосшавии оби он тадбирҳои зарурӣ андешида шаванд. Тадбирҳои мазкур метавонанд аз чорабиниҳои профиликтикӣ ва маъмурий доир ба маҳдуд сохтани истифодаи нуриҳои минералӣ дар заминҳои қорами минтақаҳои гирду атрофи обанбор, бо ёрии усулҳои микробиологию санитарӣ тоза

кардани оби партовҳои канализатсионӣ ва таҳти назорати қатъӣ гирифтани партовҳои саноатӣ иборат бошанд.

Омӯзиши динамикаи экосистемаи обанбор инчунин барои фаҳмидани таъсири раванди эвтрофикатсия ба гуногунрангии биологии он кӯмак мерасонад. Концентратсияи баланди моддаҳои ғизоӣ метавонад ба зиёд гаштани зичии растаниҳои обӣ (макрофитҳо) ва обсазҳо (фитопланктон) оварда расонад ва ҳамчун натиҷа, дастрасӣ ба рӯшноӣ ва оксигенро дар қабатҳои поёнии оби обанбор маҳдуд созад. Ин раванд, дар навбати худ, метавонад ба захираҳои моҳӣ ва дигар организмҳои обӣ таъсири манфӣ расонад.

Аз ин рӯ, омӯзиш ва таҳқиқи динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ имконият фароҳам меорад, ки шароити оптималии инкишофи гуногунрангии намудҳои биологии онҳо муайян карда шаванд ва оид ба ниғаҳдории ин намудҳо нақшаи чорабиниҳои зарурӣ кор карда баромада шаванд.

Илова бар ин, омӯзиши динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ имкон медиҳад, ки тағйиротҳои дар ин объектҳои обӣ баамалоянда пешгӯӣ карда шаванд. Масалан, муайян кардан мумкин аст, ки кадом омилҳо метавонанд боиси тавсеаи раванди эвтрофикатсия ё паст гаштани сифати об шаванд ва барои пешгирии ин тағйиротҳо кадом чораҳои зарурӣ андешида шаванд. Андешидани тадбирҳои зарурӣ, мувофиқан, имкон медиҳанд, ки обанборҳои пастоби эвтрофӣ ҳамчун манбаи оби нӯшокӣ, захираи об барои рушди соҳаи кишоварзӣ ё макони истироҳату фароғати аҳоли ҳифз ва самаранок истифода бурда шаванд.

Ҳамин тариқ, омӯзиш, таҳлил ва таҳқиқи динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофиро барои фаҳмишу дарки имкониятҳо, истифода, ниғаҳдорӣ, ҳифз, барқарорсозӣ, идоракунии, пешгирии оқибатҳои манфии ба гуногунрангии биологӣ ва сифати об таъсиркунандаи ин объектҳои обӣ муҳим арзёбӣ кардан мумкин аст.

Махсусиятҳои амсиласозии концептуалӣ ва математикии ЭОПЭ бо ҳудудҳои тағйирёбанда. Таҳлили адабиёти илмию таҳқиқоти муосири ба амсиласозии экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофӣ бахшидашуда нишон медиҳад, ки муҳаққиқони соҳа ба амсиласозии концептуалӣ ва математикии обанборҳои ҳудудҳояшон тағйирёбанда камтар тавачҷуҳ зоҳир намудаанд. Аммо бояд қайд намуд, ки маҳз тавассути ҳамин гуна амсилаҳо равандҳои тағйир ёфтани ҳаҷм, масоҳат ва шакли обанборҳоро, ки зери таъсири омилҳои гуногуни табиӣ ва антропогенӣ, ба монанди тағйирёбии миқдори оби воридотӣ, идоракунии миқдори оби содиротӣ ва сатҳи об, эрозияи соҳилҳо ва ғайра ба вуқӯъ пайваста метавонанд, ба назар гирифтани ва идора кардан имконпазир аст.

Яке аз намунаҳои чунин амсилаҳо, масалан, амсилаи математикии обанбори ҳудудҳояш тағйирёбандае буда метавонад, ки асоси онро муодилаҳои Навье-Стокс ва муодилаи интиқоли концентратсияи моддаҳои ғизоӣ ташкил додаанд. Ин гуна амсила имкон медиҳад, ки дараҷаи таъсири тағйирёбии андозаҳои обанбор ба динамикаи экосистемаи он муайян карда шуда, стратегияи истифода ва идоракунии оптималии сатҳи оби он кор карда баромада шавад.

Дар адабиёти илмӣ, инчунин, метавон баъзан амсилаҳои ба назарияи бозиҳо асосёфтаре вохӯрд, ки бо ёрии онҳо таъсири мутақобилаи байни иштирокчиёни гуногуни экосистема, аз қабилҳои моҳӣ, моҳигирон, бентос, фитопланктон, зоопланктон ва ғайраро таҳлил кард. Ин гуна амсилаҳо стратегияҳои гуногуни рафтори иштирокчиёни бозиро ба эътибор гирифта, имкон медиҳанд, ки идоракунии захираҳои биологӣ ва ғайрибиологии обанбор оптимизатсия карда шаванд.

Аммо сарфи назар аз пешрафти ҷабҳаи амсиласозии обанборҳои ҳудудҳояшон тағйирёбанда, ҳанӯз ҳам дар ин самт маҳдудиятҳо ва мушкилиҳои зиёде ба чашм мерасанд. Яке аз мушкилоти асосӣ – ин душвории ба ҳисоб гирифтани омилҳои мебошад, ки онҳо ба тағйирёбии андозаҳои обанбор таъсир расонида метавонанд. Ин омилҳо метавонанд хеле гуногун ва ноустувор бошанд. Илова бар ин, тавре қаблан қайд кардем, барои идентификатсия ва верификатсия намудани ин гуна амсилаҳо мавҷудияти маълумоти эксперименталии зиёде зарур аст.

Бо вуҷуди ин, амсилаҳои концептуалӣ ва математикии обанборҳои ҳудудҳояшон тағйирёбанда метавонанд дар омӯзиш ва таҳқиқи динамикаи экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофӣ абзори бағоят муҳим бошанд. Абзори мазкур инчунин метавонад барои пешгӯии тағйиротҳои дар ин экосистемаҳо рухдиҳанда, таҳияи стратегияҳои муассири идоракунӣ ва ҳифзи гуногунрангии биологӣ онҳо истифода шавад.

Дар расми 3 сохтори блоки амсилаи концептуалии экосистемаи обанбори пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда тасвир ёфтааст. Тавре аз нақшаи амсила дида мешавад, он аз се блоки мустақил ва бо ҳам алоқаманд иборат аст: экологӣ, гидродинамикӣ ва омехтакунӣ. Равишҳои пайвандсозии блокҳои амсила, тарзи сохторбандӣ ва услуби бандубасти баҳисобгирии омилҳои беруна ва дохилии ба динамикаи экосистемаи обанбори пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда таъсиркунанда муътамадона собит месозанд, ки амсилаи мазкур фарогири кулли масъалаҳои асосии таҳқиқотӣ мебошад. Маҳз дар асоси ҳамин амсилаи концептуалӣ минбаъд амсилаи математикии динамикаи ЭОПЭ бо ҲТ рӯи кор хоҳад омад.

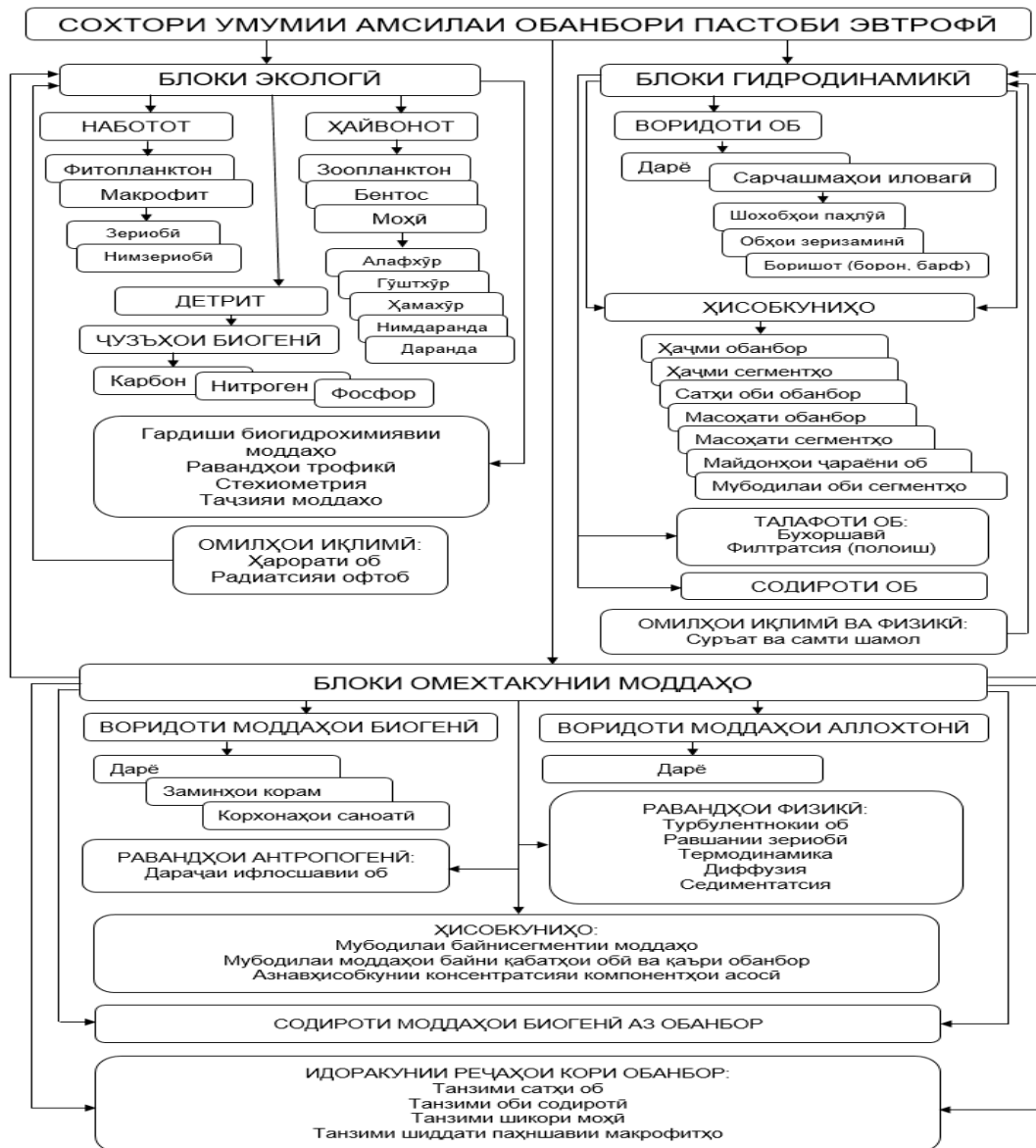
Блоки экологии амсилаи ЭОПЭ бо ҲТ барои тавсифи гардиши биогидрохимиявии моддаҳо, равандҳои дар гиреҳҳои занҷираи трофикӣ бавуқӯоянда, амалишавии принципҳои стехиометриявии истеъمولу таъзияи моддаҳо, баҳисобгирии омилҳои иқлимӣ ва дигар омилҳои маҳдудкунандаи рушду нумӯи растаниҳои олии обӣ, обсабзҳо ва ҳайвоноти микроорганизмҳои обӣ хизмат мерасонад.

Блоки гидродинамикии амсила дар заминаи маълумоти эксперименталӣ оид ба миқдори обҳои воридотию содироти обанбор, самт, қувва ва суръати шамол ва инчунин дигар маълумотҳо ҳисобкунии майдонҳои ҷараёни шамолӣ об, мубодилаи оби байни сегментҳо ва қабатҳои гуногуни обанбор ва инчунин тағйирёбии сатҳ (баландӣ), ҳаҷм ва масоҳатҳои обанбору сегментҳои гуногуни онро ба зимма дорад.

Дар блоки омехтакунии амсилаи ЭОПЭ бо ҲТ азнавҳисобкунииҳои концентратсияҳои компонентҳои асосии экосистема ва идоракунии речаҳои моҳидорию алафғундори обанбор ба роҳ монда мешаванд, ки дар натиҷаи равандҳои мубодилаи байнисегментии обу моддаҳо, мубодилаи моддаҳои байни қабатҳои обӣ ва қаъри обанбор (диффузия, седиментатсия) ва инчунин мубодилаи моддаҳои органикии аллохтонӣ ва биогении аз ҳавзаи обанбор воридшаванда амалӣ хоҳанд шуд.

Ҳар се блоки амсилаи ЭОПЭ бо ҲТ бо қадамҳои мустақили вақтии худ ба таври худмухтор (автономӣ), новобаста аз ҳамдигар кор мекунанд.

Ҳамин тариқ, зимни таҳия ва татбиқи усулҳои ҳоссаи амсиласозии концептуалӣ ва математикии динамикаи экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда таҳиягарон ва муҳаққиқони соҳа бояд масъалагузориҳои зеринро барои ҳолатҳои умумии амалкарди ин гуна экосистемаҳо тарҳрезӣ намоянд:



Расми 3. Сохтори блокии амсилаи концептуалии экосистемаи обанбори пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда

Рисунок 3. Блочная структура концептуальной модели эвтрофной водно-болотной экосистемы с переменными границами

Figure 3. Block structure of a conceptual model of a eutrophic wetland ecosystem with variable boundaries

- омӯзиш ва таҳлили таъсири омилҳои иқлимӣ, аз қабили ҳарорати об, боришот ва рӯшноии (радиатсия) офтоб ба динамикаи ЭОПЭ бо ҲТ;
- муайян кардани омилҳои экзогенӣ ва эндогенӣ, ки ба сифати об, инкишоф ва тағйирёбии динамикаи ЭОПЭ бо ҲТ бештар таъсир мерасонанд;
- таҳқиқи таъсири растаниҳои олиӣ обӣ (макрофитҳо) ва намудҳои дигари набототу ҳайвонот ба сифати об ва гуногунрангии биологии ЭОПЭ бо ҳудудҳои тағйирёбанда;
- арзёбии хосса ва алоҳидаи таъсири навъҳои гуногуни моҳӣ ба гуногунрангии биологии ЭОПЭ бо ҲТ;
- муайян кардан ва назорат бурдан аз болои манбаҳои моддаҳои ғизоӣ, ки ба ЭОПЭ бо ҲТ аз муҳити атроф ворид мешаванд;
- таҳлили маълумоти эксперименталӣ оид ба миқдор ва таркиби моддаҳои ғизоӣ дар амсилаи ЭОПЭ бо ҲТ истифодашаванда;
- таҳияи тадбирҳои мувофиқ, таҳқиқи самаранокии ин тадбирҳо ва коркарди афзорҳои зарурӣ барои коҳиш додани раванди ифлосшавӣ ва барқарорсозии экосистемаи солими ОПЭ бо ҲТ;

- муайян намудани шароити оптималии ниғаҳдории экосистемаи солими ОПЭ бо ҲТ, коркарди тавсияҳо оид ба идоракунии он;
- дарки оқибатҳои манфии раванди эвтрофикатсия ба гуногунрангии биологии ЭОПЭ бо ҲТ, коркарди афзорҳои зарурӣ барои рафъи он;
- арзёбии таъсири фаъолияти антропогенӣ, аз қабилӣ партовҳои кишоварзӣ ва саноатӣ ба равандҳои дар ЭОПЭ бо ҲТ ба вуқӯъоянда;
- таҳлили тағйироти таркиб ва миқдори растанию ҳайвонот дар ЭОПЭ бо ҲТ, ки дар натиҷаи фаъолияти антропогенӣ ба вучуд омадаанд;
- таҳлили тағйироти дарозмуддати ЭОПЭ бо ҲТ, коркарди афзорҳои мувофиқи ҳифз ва истифодаи самарабахши онҳо ҳамчун манбаи оби нӯшокӣ, пешбарандаи хоҷагии қишлоқ ва истироҳату фароғати аҳоли;
- коркарди афзорҳои ояндабинии тағйиротҳои дар ЭОПЭ бо ҲТ руҳдиҳанда, таҳияи тавсияҳои методӣ оид ба пешгирии оқибатҳои манфӣ ва истифодаи самараноки экосистемаҳои онҳо.

Дар маҷмӯъ, амсилаҳои концептуалӣ ва математикии динамикаи экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда низ ба монанди дигар амсилаҳои динамикии маҳзанҳои обӣ, маъмулан дар посух ба таъсири омилҳои беруна, барои тасвири равандҳои асосии интиқоли моддаҳо, табодули онҳо ва пешгунии тағйиротҳои дар ин экосистемаҳо руҳдиҳанда сохта мешаванд.

Амсилаҳои математикӣ бояд ҳисобкуниҳои ҳаҷми умумии обанборҳо, ҳаҷми сегментҳои вижаи онҳо, миқдори оби воридотӣ аз манбаъҳои асосӣ (дарёҳо), миқдори оби иловашаванда аз ҳисоби шохобҳои дуумдараҷа (пахлӯӣ), боришоти барф, борон ва обҳои зеризаминӣ, тақсмоти об дар байни сегментҳои обанборҳо, ҳисобкуниҳои ҷараёнҳои байнисегментӣ, миқдори оби содиротӣ ба воситаи сарбанди обанборҳо, миқдори оби аз сатҳи онҳо бухоршаванда, миқдори талафоти об дар натиҷаи раванди филтратсия (полоиш), иловашавии моддаҳои ғизоӣ бо ёрии обҳои воридотӣ, беруншавии моддаҳои ғизоӣ ба воситаи обҳои содиротӣ ва инчунин чор компоненти асосии экосистема: наботот (фитопланктон, макрофитҳо), ҳайвонот (зоопланктон, бентос, моҳӣ), детрит (моддаҳои органикии мурда) ва концентратсияи маводи ғизоӣ (карбон, нитроген, фосфор)-ро ба ҳисоб гиранд.

Ҳар як компоненти экосистемаи обанбор бо ёрии системаи муодилаҳои дифференсиалии алоҳида тавсиф карда мешавад, ки дар онҳо равандҳои тавлид, истеъмол, афзоиш, фавт ва ҳаракату мубодилаи моддаҳо ба назар гирифта мешаванд.

Амсилаҳои математикии экосистемаҳои обанборҳо инчунин бояд омилҳои иқлимӣ (ҳарорати об, радиатсияи офтоб, суръат ва самти шамол, сатҳи ифлосии об ва ғайра), равандҳои физикӣ, аз қабилӣ турбулентнокӣ, равшании зеробӣ ва термодинамика ва инчунин функцияҳои идоракунии танзими сатҳи об, моҳидорӣ ва даравидани макрофитҳоро ба ҳисоб гиранд. Зимни баҳисобгирии таъсири ин омилҳо ба амсилаи тағйирёбандаҳои мувофиқро илова кардан зарур аст.

Барои ҳалли компютери системаҳои муодилаҳои дифференсиалии ҳосилшаванда, маъмулан аз усулҳои адабии Эйлер, Рунге-Кутт ё Рунге-Кутт-Мерсон истифода мебаранд. Барои ҳолатҳои махсус бошад, бо истифода аз усулҳои таҳлилий ҳалҳои аналитикии системаҳои муодилаҳоро меёбанд.

Хусусияти амсилаҳои математикии ҳосилшаванда дар он аст, ки дар онҳо бояд ҳудудҳои тағйирёбандаи экосистемаҳои обанборҳои таҳқиқотӣ ба эътибор гирифта шаванд. Ин маънои онро дорад, ки амсилаҳои мазкур тағйирёбии андозаи обанборҳоро вобаста ба тағйирёбии омилҳои беруна (масалан, боришот, ҳарорат, обёрӣ) ва танзими сатҳи об ба ҳисоб мегиранд, ки онҳо метавонанд ба динамикаи ин экосистемаҳо таъсиргузор бошанд.

Инчунин, дар амсилаҳои математикии таҳияшаванда бояд хусусиятҳои обанборҳои пастоб, ки барои растаниҳо, планктон ва моҳӣ шароити хоссаи зиндагӣ ба вучуд меоранд, ба назар гирифта шаванд.

Ҳамин тариқ, амсилаи концептуалии (дар оянда математикии) ЭОПЭ бо ҲТ, ки аз блокҳои экологӣ, гидродинамикӣ ва омехтакунии иборат аст, барои муайян кардани стратегияҳои оптималии идоракунии речаҳои кори экосистемаи обанбори пастоби эвтрофии ҳудудҳояш тағйирёбанда, беҳтар гардонидани сифати об ва ниғаҳдории гуногунрангии биологии таркиби он пешбинӣ шудааст. Дурустӣ ва дақиқии пешгуии экодинамикаи обанбор аз сифати маълумотҳои минбаъд дар амсилаи математикии он истифодашаванда, аз тағйирёбии эҳтимолии ҳудудҳои обанбор ва аз кулли омилҳои аҳамиятноке вобаста хоҳад буд, ки онҳо метавонанд ба динамикаи экосистема ягон таъсире расонанд.

Хулосаҳо ҷамъбасти:

1. Дар мақола экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда ба сифати объекти таҳқиқотӣ мавриди омӯзиш қарор дода шуда, хусусиятҳо, умумиятҳо ва тафовути онҳо аз экосистемаҳои дигар маҳзанҳои обӣ, хосса аз обанборҳои пастоби ҳудудҳояшон доимӣ баррасӣ гардидааст.

2. Экосистемаи обанборҳо аз рӯи тарзи пайдоиш, мақсади истифода, мавзеи географӣ, хусусиятҳои экологӣ, навъи муҳити обӣ, намудҳои наботот ва ҳайвонот, сатҳи трофикӣ, таъсири антропогенӣ ва дигар нишондиҳандаҳо таснифбандӣ карда шудаанд, ки он дар арзёбии ҳолати ин экосистемаҳо, андешидани тадбирҳои зарурӣ оид ба ҳифзу барқарорсозӣ ва муайян кардани имконоти истифодаи онҳо ҳамчун маҳзани оби ошомиданӣ, объекти рушди моҳидорӣ ва макони истироҳату фароғат воситаи хеле муҳим мебошад.

3. Барои таҳқиқ, таҳлил ва пешгуии динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда бо баҳисобгирии гуногунрангии намудҳои биологӣ, устувории системаи экологӣ, гардиши биогидрохимиявии моддаҳо, механизми дарёфти ғизо ва истеъмоли он аз тарафи популятсияи моҳиҳо, тағйирёбии массаи организмҳои обӣ ва ҷузъҳои биогенӣ амсилаҳои концептуалию сохтори умумии ин гуна экосистемаҳо сохта шудаанд.

4. Амсилаҳои концептуалии таҳияшуда имкон медиҳанд, ки сохтор ва таркиби экосистемаҳои обанборҳои пастоби эвтрофии тарҳрезиванда дарк карда шуда, пайвандҳои дохилӣ, хосиятҳо, қонуниятҳои рушд ва худрушд, робита, вобастагӣ ва алоқамандии онҳо бо объектҳо ва омилҳои муҳити атроф муайян карда шуда, захираҳои обию биологии онҳо ба таври оптималӣ идора ва самаранок истифода бурда шаванд.

5. Амсилаҳои концептуалии таҳияшуда инчунин метавонанд дар муайян кардани омилҳои дохилию берунаи ба инкишоф ва тағйирёбии динамикаи экосистемаи обанбор таъсиркунанда, таҳлили маълумоти эксперименталӣ оид ба миқдор ва таркиби моддаҳои ғизой, назоратбарӣ аз болои манбаъҳои ғизоие, ки ба обанбор аз муҳити атроф ворид мешаванд, таҳқиқи таъсири навъҳои гуногуни наботот ва ҳайвонот ба гуногунрангии биологӣ, арзёбии таъсири антропогенӣ ба экосистема, андешидани тадбирҳои зарурӣ оид ба коҳиш додани раванди ифлосшавӣ, таҳлили тағйироти дарозмуҳлати экосистема ва пешгуии инкишофи ояндаи он ҳамчун абзори дастраси таҳқиқотӣ хизмат расонанд.

АДАБИЁТ

1. Айзатуллин, Т. А. Математическое моделирование экосистем континентальных водотоков и водоёмов [Текст] / Т.А. Айзатуллин, И.П. Шамардина // Итоги науки и техники. Сер. Общ. экология. Биоценология. Гидробиология. – М., 1980. – Т.5. – С.154-228.
2. Баранник, В. А. Модель распределения фитопланктона в южном Байкале [Текст] / В.А. Баранник, Ю.М. Плис // Математическое моделирование водных экологических систем. – Иркутск, 1978. – С.113-120.
3. Винберг, Г. Г. Математическая модель водной экосистемы [Текст] / Г.Г. Винберг, С.И. Анисимов// Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. – М., 1966. – С. 213-223.
4. Водохранилища мира [Текст] / Отв. ред. Г.В. Воропаев, С.Л. Вендров. – М.: Наука, 1979. – 287 с.
5. Воинов, А. А. Имитационная модель Кайракумского водохранилища [Текст] А.А. Воинов, Ф.С. Комилов. – М.: ВЦ АН СССР, «Сообщения по прикладной математике», 1986. – 40 с.
6. Воинов, А. А. Моделирование экосистемы водохранилищ реки Вахш [Текст] / А.А. Воинов, Ф.С. Комилов. – Душанбе: ТаджикНИИТИ, 1985. – 39 с.

7. Горстко, А. Б. Математическое моделирование и проблемы использования водных ресурсов [Текст] / А.Б. Горстко. – Ростов на Дону: РГУ, 1976. – 63с.
8. Дерябин, В. Н. Прогнозирование качества воды в водоемах при избыточном поступлении в них биогенных элементов / В.Н. Дерябин, А.П. Васильчикова, И.М. Ширяк и др. // Антропогенное эвтрофирование природных вод. – Черноголовка, 1977. – Т. 1. – С. 80-85.
9. Комилиён Ф.С. Арзёбии динамикаи захираҳои биологии экосистемаҳои махзанҳои оби Тоҷикистон бо истифода аз усулҳои амсиласозии математикӣ ва компютерӣ [Матн] / Ф.С. Комилиён // Маводҳои конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Таҳлили компютерии масъалаҳои илм ва технология», бахшида ба «Солҳои 2020-2040 эълон гардидани 20-солаи омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» ва «75-солагии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон». – Душанбе, 2023. – С. 10-22.
10. Комилиён, Ф. С. Амсиласозии компютерии динамикаи популятсияи моҳиҳои экосистемаи обанбори пастоб [Матн] / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидов. – Душанбе: Меҳроҷ Граф, 2019. – 154 с.
11. Комилиён, Ф. С. Мушкилоти амсиласозии математикӣ ва компютерии экосистемаҳои махзанҳои оби дар Тоҷикистон ва арзёбии динамикаи захираҳои биологии онҳо [Матн] / Ф.С. Комилиён // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва ҷамъиятӣ. – 2023. – № 4. – С. 98-118.
12. Комилов, Ф. С. Амсиласозии компютерии ҳаёти гулмоҳӣ дар бассейн. Монография [Матн] / Ф.С. Комилов, Ф.Т. Шамсов. – Душанбе: Ирфон, 2021. – 140 с.
13. Комилов, Ф. С. Блок перемешивания имитационной модели экосистемы Кайраккумского водохранилища [Текст] / Ф.С. Комилов // Доклады Академии наук Таджикской ССР. – 1990. – Т. 33. – № 5. – С. 299-302.
14. Комилов, Ф. С. Имитационная модель динамики экосистемы макрофитного рыбоводного пруда [Текст] / Ф.С. Комилов, И.Л. Косимов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 135 с.
15. Комилов, Ф. С. Имитационное моделирование динамики экосистем водохранилищ [Текст] / Ф.С. Комилов. – Душанбе: Амри илм, 1996. – 142 с.
16. Комилов, Ф. С. Имитационное моделирование рыбной популяции экосистемы Кайраккумского водохранилища [Текст] / Ф.С. Комилов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2002. – Т. 45. – № 5-6. – С. 73-80.
17. Комилов, Ф. С. Имитационное моделирование управляемой высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда [Текст] / Ф.С. Комилов, Д.С. Шарапов. – Душанбе: Сохибкор, 2000. – 80 с.
18. Комилов, Ф. С. Компьютерное моделирование экосистем водохранилищ [Текст] / Ф.С. Комилов. – Душанбе: Сохибкор, 2010. – 240 с..
19. Комилов, Ф. С. Математическая модель экосистемы равнинного водохранилища [Текст] / Ф.С. Комилов // Аграрная наука. – 2003. – № 9. – С. 24-26.
20. Комилов, Ф. С. Математическое моделирование экосистем водохранилищ [Текст] / Ф.С. Комилов, А.А. Воинов, М.К. Юнусов. – Душанбе: «Общество Знание», 1989. – 20 с. – EDN: GJODFF.
21. Комилов, Ф. С. Математическое моделирование экосистем водохранилищ [Текст] / Ф.С. Комилов, В.П. Пархоменко. – М.: ВЦ РАН, «Сообщение по прикладной математике», 2003. – 46 с.
22. Комилов, Ф. С. Модель экосистемы горного глубоководного олиготрофного водохранилища [Текст] / Ф.С. Комилов // Аграрная наука. – М., 2003. – № 8. – С. 23-25.
23. Косимов, И. Л. Математическое моделирование экосистемы макрофитно-рыбоводного пруда с Белым Амуром [Текст] / И.Л. Косимов, Ф.С. Комилов // Вестник Педагогического университета. – 2013. – № 5-2 (54). – С. 109-115.
24. Крапивин, В. Ф. Математическое моделирование и расчет биоокеанографических полей перуанского течения [Текст] / В.Ф. Крапивин, М.П. Айвазян, Ф. А. Мкртчян, Б.С. Флейшман // Ученые записки Ереванского государственного университета. – 1976. – № 3. – С. 100-110.
25. Лукьянов, Н. К. Имитационная модель экосистемы олиготрофного озера [Текст] / Н.К. Лукьянов, Ю.М. Свирижев // Математические модели водных экосистем. – М., 1984. – С. 75-96.
26. Меншуткин, В. В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция) [Текст] / В.В. Меншуткин. – Санкт-Петербург, 2010. – 416 с.
27. Одум, Ю. Основы экологии [Текст] / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
28. Печуркин, Н. С. Популяционная микробиология [Текст] / Н.С. Печуркин. – Новосибирск: Наука, 1978. – 280 с.
29. Свирижев, Ю. М. Имитационная модель экосистемы оз. Балатон [Текст] / Ю.М. Свирижев, А.А. Воинов, А.П. Тонких. – М., 1984. – 85 с.
30. Свирижев, Ю. М. Устойчивость биологических сообществ [Текст] / Ю.М. Свирижев, Д.О. Логофет. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
31. Brandstetter, A. Lumped and distributed parameter limnological models for deep lakes and impoundments. Model simulat [Text] / A. Brandstetter, R.G. Vaca, A.F. Gasperlino // Proc. 8-th Annu. Pittsburg Conf. – Pittsburg, Pa, 1977. – Vol. 8, pr. – P.725-732.
32. Jorgensen, S. E. An eutrophication model for a lake [Text] / S.E. Jorgensen // Ecological Modelling. – 1976. – № 2. – P. 147-165.
33. Leonov, A. Modeling and Explaining the Phosphorus Dynamics of Lake Balaton, 1976-1979 [Text] / A. Leonov. – Laxenburg, Austria, 1985. – 59 p.

34. Riley, G. A. Factors controlling phytoplankton population on Georges Bank [Text] / G.A. Riley // Journal of Marine Research. – 1946. – № 6. – P. 54-73.
35. Suzuki, M. Construction of the mathematical model of the lower trophic levels of the marine ecosystem and its stability analysis [Text] / M. Suzuki, A. Ouchi, J. Fukuoka // Bulletin Faculty of Fisheries, Hokkaido University. – 1979. – Vol. 30. – № 3. – P. 216-229.
36. Svirezhev, Ju. M. Mathematical modelling of a fishpond ecosystem [Text] / Ju.M. Svirezhev, V.P. Krysanova, A.A. Voinov // Ecological Modelling. – 1984. – № 21. – P. 315-337.
37. Vollenweider, R. A. Calculation models of photosynthesis-depth curves and some implications regarding day rate estimates in primary production measurements [Text] / R.A. Vollenweider // Memorie Ist. Ital. Idrobiol. – 1965. – 18 Suppl. – P. 425-457.

REFERENCES

1. Aizatullin, T. A. Mathematical modeling of ecosystems of continental watercourses and reservoirs [Text] / T.A. Aizatullin, I.P. Shamardina // Results of Science and Technology. Ser. General ecology. Biocenology. Hydrobiology. – M., 1980. – T.5. – Pp.154-228.
2. Barannik, V.A. Model of phytoplankton distribution in southern Baikal [Text] / V.A. Barannik, Yu.M. Plis // Mathematical modeling of water ecological systems. – Irkutsk, 1978. – Pp.113-120.
3. Vinberg, G.G. Mathematical model of an aquatic ecosystem [Text] / G.G. Vinberg, S.I. Anisimov // Photosynthetic systems of high productivity. – M., 1966. – Pp.213-223.
4. Reservoirs of the world [Text] / Rep. ed. G.V. Voropaev, S.L. Vendrov. – M.: Nauka, 1979. – 287 p.
5. Voinov, A.A. Simulation model of the Kairakkum reservoir [Text] A.A. Voinov, F.S. Komilov. – M.: Computing Center of the USSR Academy of Sciences, "Messages on Applied Mathematics", 1986. – 40 p.
6. Voinov, A. A. Modeling the ecosystem of reservoirs of the Vakhsh River [Text] / A.A. Voinov, F.S. Komilov. – Dushanbe: TajikNIINTI, 1985. – 39 p.
7. Gorstko, A. B. Mathematical modeling and problems of using water resources [Text] / A.B. Gorstko. – Rostov-on-Don: RSU, 1976. – 63 p.
8. Deryabin, V.N. Forecasting the quality of water in reservoirs with excessive influx of nutrients into them / V.N. Deryabin, A.P. Vasilchikova, I.M. Shiryak et al. // Anthropogenic eutrophication of natural waters. – Chernogolovka, 1977. – T. 1. – Pp.80-85.
9. Kamilian F.S. Assessment of dynamics of biological resources of ecosystems of water reservoirs of Tajikistan using mathematical and computer modeling methods [Text] / F.S. Komilyon // Materials of the international scientific-practical conference on the topic "Computer analysis of science and technology issues", dedicated to "2020-2040 announced 20 years of study and development of natural, exact and mathematical sciences in the field of science and education" and "75- anniversary of the National University of Tajikistan". - Dushanbe, 2023. – Pp.10-22.
10. Komiliyan, F. S. Computer modeling of fish population dynamics of a lowland reservoir ecosystem [Text] / F.S. Komiliyan, I.M. Saidov. - Dushanbe: Mehroj Graf, 2019. - 154 p.
11. Komiliyan, F. S. Problems of mathematical and computer modeling of ecosystems of water reservoirs in Tajikistan and assessment of dynamics of their biological resources [Text] / F.S. Perfections // Message of the National University of Tajikistan. Department of socio-economic and social sciences. - 2023. - No. 4. - S. 98-118.
12. Komilov, F. S. Computer simulation of trout life in a pool. Monograph [Text] / F.S. Komilov, F.T. Shamsov. - Dushanbe: Irfan, 2021. - 140 c.
13. Komilov, F. S. Mixing block of the simulation model of the ecosystem of the Kairakkum reservoir [Text] / F.S. Komilov // Reports of the Academy of Sciences of the Tajik SSR. – 1990. – T. 33. – No. 5. – P. 299-302.
14. Komilov, F.S. Simulation model of the dynamics of the ecosystem of a macrophyte fish pond [Text] / F.S. Komilov, I.L. Kosimov. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 135 p.
15. Komilov, F.S. Simulation modeling of the dynamics of reservoir ecosystems [Text] / F.S. Komilov. – Dushanbe: Amri Ilm, 1996. – 142 p.
16. Komilov, F.S. Simulation modeling of the fish population of the Kairakkum reservoir ecosystem [Text] / F.S. Komilov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2002. – T. 45. – No. 5-6. – Pp.73-80.
17. Komilov, F.S. Simulation modeling of a managed highly productive ecosystem of a fish pond [Text] / F.S. Komilov, D.S. Sharapov. – Dushanbe: Sohikkor, 2000. – 80 p.
18. Komilov, F.S. Computer modeling of reservoir ecosystems [Text] / F.S. Komilov. – Dushanbe: Sohikkor, 2010. – 240 p.
19. Komilov, F.S. Mathematical model of the ecosystem of a lowland reservoir [Text] / F.S. Komilov // Agrarian science. – 2003. – No. 9. – Pp. 24-26.
20. Komilov, F.S. Mathematical modeling of reservoir ecosystems [Text] / F.S. Komilov, A.A. Voinov, M.K. Yunusov. – Dushanbe: "Society Knowledge", 1989. – 20 p.
21. Komilov, F.S. Mathematical modeling of reservoir ecosystems [Text] / F.S. Komilov, V.P. Parkhomenko. – M.: Computing Center of the Russian Academy of Sciences, "Message on Applied Mathematics", 2003. – 46 p. – EDN: QKMEUH.
22. Komilov, F.S. Model of the ecosystem of a mountain deep-sea oligotrophic reservoir [Text] / F.S. Komilov // Agrarian science. – M., 2003. – No. 8. – Pp.23-25.
23. Kosimov, I. L. Mathematical modeling of the ecosystem of a macrophyte-fish pond with the White Amur [Text] / I. L. Kosimov, F.S. Komilov // Bulletin of the Pedagogical University. – 2013. – No. 5-2 (54). – Pp.109-115.

24. Krapivin, V.F. Mathematical modeling and calculation of bio-oceanographic fields of the Peruvian current [Text] / V.F. Krapivin, M.P. Ayvazyan, F. A. Mkrtchyan, B.S. Fleishman // Scientific notes of Yerevan State University. – 1976. – No. 3. – Pp.100-110.
25. Lukyanov, N.K. Simulation model of the ecosystem of an oligotrophic lake [Text] / N.K. Lukyanov, Yu.M. Svirezhev // Mathematical models of aquatic ecosystems. – M., 1984. – Pp.75-96.
26. Menshutkin, V.V. The art of modeling (ecology, physiology, evolution) [Text] / V.V. Menshutkin. – St. Petersburg, 2010. – 416 p.
27. Odum, Yu. Fundamentals of ecology [Text] / Yu. Odum. – M.: Mir, 1975. – 740 p.
28. Pechurkin, N.S. Population microbiology [Text] / N.S. Pechurkin. – Novosibirsk: Nauka, 1978. – 280 p.
29. Svirezhev, Yu. M. Simulation model of the lake ecosystem. Balaton [Text] / Yu.M. Svirezhev, A.A. Voinov, A.P. Thin. – M., 1984. – 85 p.
30. Svirezhev, Yu. M. Stability of biological communities [Text] / Yu.M. Svirezhev, D.O. Logofet. – M.: Nauka, 1978. – 352 p.
31. Brandstetter, A. Lumped and distributed parameter limnological models for deep lakes and impoundments. Model simulat [Text] / A. Brandstetter, R.G. Baca, A.F. Gasperlino // Proc. 8-th Annu. Pittsburg Conf. – Pittsburg, Pa, 1977. – Vol. 8, pr. – P.725-732.
32. Jorgensen, S. E. An eutrophication model for a lake [Text] / S.E. Jorgensen // Ecological Modelling. – 1976. – № 2. – Pp.147-165.
33. Leonov, A. Modeling and Explaining the Phosphorus Dynamics of Lake Balaton, 1976-1979 [Text] / A. Leonov. – Laxenburg, Austria, 1985. – 59 p.
34. Riley, G. A. Factors controlling phytoplankton population on Georges Bank [Text] / G.A. Riley // Journal of Marine Research. – 1946. – № 6. – Pp.54-73.
35. Suzuki, M. Construction of the mathematical model of the lower trophic levels of the marine ecosystem and its stability analysis [Text] / M. Suzuki, A. Ouchi, J. Fukuoka // Bulletin Faculty of Fisheries, Hokkaido University. – 1979. – Vol. 30. – № 3. – Pp.216-229.
36. Svirezhev, Ju. M. Mathematical modelling of a fishpond ecosystem [Text] / Ju.M. Svirezhev, V.P. Krysanova, A.A. Voinov // Ecological Modelling. – 1984. – № 21. – Pp.315-337.
37. Vollenweider, R. A. Calculation models of photosynthesis-depth curves and some implications regarding day rate estimates in primary production measurements [Text] / R.A. Vollenweider // Memorie Ist. Ital. Idrobiol. – 1965. – 18 Suppl. – Pp.425-457.

УСУЛҶОИ АМСИЛАСОЗИИ ДИНАМИКАИ ЭКОСИСТЕМАИ ОБАНБОРИ ПАСТОБИ ЭВТРОФӢ БО ҲУДУДҶОИ ТАҒЙИРӢБАНДА

Таҳқиқот ба омӯзиш ва арзёбии динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда бахшида шуда, дар он дақиқасозии хусусиятҳо, умумиятҳо ва тафовути онҳо аз экосистемаҳои дигар маҳзанҳои обӣ, ҳосса аз обанборҳои пастоби эвтрофии ҳудудҳояшон доимӣ мавриди таҳлил қарор гирифтааст. Бо истифода аз усули такмилдодашудаи таснифбандӣ экосистемаи обанборҳо аз рӯи тарзи пайдоиш, мавзеи географӣ, хусусиятҳои экологӣ, навъи муҳити обӣ, намудҳои наботот ва ҳайвонот, сатҳи трофикӣ, мақсади истифода ва дараҷаи таъсири антропогенӣ ба онҳо гурӯҳбандӣ карда шудааст, ки натиҷаҳои онро дар арзёбии вазъи экосистемаи онҳо, андешидани тадбирҳои амалӣ оид ба ҳифзу барқарорсозӣ ва истифодаи самараноки онҳо ба сифати маҳзанҳои оби ошомиданӣ, объектҳои рушди моҳипарварӣ ва мавзёҳои созгори истироҳатӣ ба таври васеъ татбиқ кардан мумкин аст. Барои таҳқиқ, таҳлил ва пешгуи динамикаи экосистемаи обанборҳои пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирёбанда дар заминаи усули таснифбандӣ ва баҳисобгирии гуногунрангии намудҳои биологӣ, устувории системаҳои экологӣ, гардиши биогидрохимиявии моддаҳо, механизми дарёфт ва истеъмоли ғизо аз тарафи популятсияи моҳиҳо, тағйирёбии массаи организмҳо, чузӯҳои биогенӣ ва дигар омилҳои амсилаҳои концептуалию сохтории умумии экосистемаи обанборҳо сохта шудаанд. Мазмуну мундариҷа ва чузӯиёти амсилаҳои таҳияшуда имкон медиҳанд, ки сохтор ва таркиби экосистемаи обанборҳои таҳқиқотӣ тасаввур ва дарк карда шаванд, пайвандҳои дохилӣ, хосиятҳо, қонуниятҳои рушд ва ҳудрушд, робита, вобастагӣ ва алоқамандии онҳо бо объектҳо ва омилҳои таъсиррасони муҳити атроф муайян карда шаванд ва захираҳои обио биологии онҳо ба таври оптималӣ идора карда шуда, самаранок истифода бурда шаванд. Таҳлилҳо собит сохтанд, ки амсилаҳои концептуалии таҳияшударо ҳамчун абзори таҳқиқотии дастрас метавон дар муайян кардани омилҳои дохилию берунаи ба инкишоф ва тағйирёбии динамикаи экосистемаи обанбор таъсиркунанда, таҳлили маълумотҳои эксперименталӣ оид ба миқдор ва таркиби моддаҳои ғизоӣ, назоратбарӣ аз болои манбаъҳои ғизоии воридотӣ, таҳқиқи таъсири навъҳои гуногуни наботот ва ҳайвонот ба гуногунрангии биологӣ, арзёбии таъсири антропогенӣ, андешидани тадбирҳои зарурии вобаста ба қоҳишдиҳии раванди ифлосшавӣ, таҳлили тағйироти дарозмуҳлати экосистема ва пешгуи рушду инкишофи минбаъдаи он истифода бурд.

Калидвожаҳо: об, захираҳои обӣ ва биологӣ, моҳӣ, моҳипарварӣ, экосистемаи обанбори пастоби эвтрофӣ, амсиласозии концептуалӣ, амсилаи математикӣ, речаи идоракунии, омилҳои табиӣ, омилҳои антропогенӣ, гардиши биогидрохимиявии моддаҳо.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭКОСИСТЕМЫ МЕЛКОВОДНОГО ЭВТРОФНОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ПЕРЕМЕННЫМИ ГРАНИЦАМИ

Работа посвящена изучению и оценке экосистемной динамики мелководных эвтрофных водохранилищ с изменяющимися границами, где анализируются и уточняются их характеристики, сходства

и отличия от экосистем других водоемов, особенно от мелководных эвтрофных водохранилищ с постоянными границами. Предложен модифицированный метод классификации экосистем водохранилищ по способу их происхождения, географическому расположению, экологическим признакам, типу водной среды, видам растений и животных, трофическим уровням, цели использования и степени антропогенного воздействия на них. Полученные результаты могут широко использоваться для оценки состояния экосистем водохранилищ, принятия практических мер по их охране и восстановлению, по эффективному их использованию в качестве резервуаров питьевой воды, объектов развития рыбного хозяйства и рекреационных зон. Для исследования, анализа и прогнозирования динамики экосистемы мелководного эвтрофного водохранилища с переменными границами на основе метода классификации и учета разнообразия биологических видов, устойчивости экологических систем, биогидрохимического круговорота веществ, механизма нахождения и потребления пищи популяцией рыбы, изменение массы организмов, биогенных элементов и других факторов разработаны концептуально-структурные модели общей экосистемы водохранилищ. Смысл, содержание и детали разработанных моделей позволяют представить и понять структуру и состав экосистем исследуемых водохранилищ, определить внутренние связи, свойства, законы развития и саморазвития, их зависимости и взаимосвязи с внешними объектами и факторами воздействия окружающей среды, а также эффективного использования и оптимального управления их водными и биологическими ресурсами. Анализы доказали, что разработанные концептуальные модели, в качестве доступных исследовательских инструментов могут быть использованы для определения внутренних и внешних факторов, влияющих на развитие и изменение динамики экосистемы водохранилища, анализа экспериментальных данных по количеству и составу биогенных веществ, контроля над импортируемыми источниками пищи, а также для исследования влияния различных видов растений и животных на биологическое разнообразие, оценки антропогенного воздействия, принятия необходимых мер, связанных с уменьшением процесса загрязнения, анализа долгосрочных изменений экосистемы и прогнозирования его дальнейшего развития.

Ключевые слова: вода, водные и биологические ресурсы, рыба, рыбоводство, экосистема мелководного эвтрофного водохранилища, концептуальное моделирование, математическая модель, режим управления, природные факторы, антропогенные факторы, биогидрохимический круговорот веществ.

METHODS FOR SIMULATING THE ECOSYSTEM DYNAMICS OF A SHALLOW EUTROPHIC RESERVOIR WITH VARIABLE BOUNDARIES

The work is devoted to the study and assessment of the ecosystem dynamics of shallow eutrophic reservoirs with changing boundaries, where their characteristics, similarities and differences from ecosystems of other reservoirs, especially from shallow eutrophic reservoirs with constant boundaries, are analyzed and clarified. A modified method for classifying reservoir ecosystems according to their method of origin, geographic location, ecological characteristics, type of aquatic environment, plant and animal species, trophic levels, purpose of use and degree of anthropogenic impact on them is proposed. The results obtained can be widely used to assess the state of reservoir ecosystems, take practical measures for their protection and restoration, and for their effective use as drinking water reservoirs, fisheries development facilities and recreational areas. To study, analyze and predict the dynamics of the ecosystem of a shallow eutrophic reservoir with variable boundaries based on the method of classification and accounting for the diversity of biological species, the stability of ecological systems, the biohydrochemical cycle of substances, the mechanism of finding and consumption of food by the fish population, changes in the mass of organisms, nutrients and other factors, conceptual and structural models of the general ecosystem of reservoirs. The meaning, content and details of the developed models make it possible to imagine and understand the structure and composition of the ecosystems of the studied reservoirs, to determine the internal connections, properties, laws of development and self-development, their dependencies and relationships with external objects and environmental factors, as well as their effective use and optimal management water and biological resources. The analyzes proved that the developed conceptual models, as accessible research tools, can be used to determine internal and external factors influencing the development and change in the dynamics of the reservoir ecosystem, analyze experimental data on the amount and composition of nutrients, control over imported food sources, as well as to study the influence of various species of plants and animals on biological diversity, assess anthropogenic impact, take the necessary measures related to reducing the pollution process, analyze long-term changes in the ecosystem and predict its further development.

Keywords: water, aquatic and biological resources, fish, fish farming, ecosystem of a shallow eutrophic reservoir, conceptual modeling, mathematical model, management regime, natural factors, anthropogenic factors, biohydrochemical cycle of substances.

Маълумот дар бораи муаллиф: **Комилиён Файзали Садулло** – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, д.и.ф.м., профессори кафедраи информатика. **Суроға:** 734025, Душанбе, Чумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Тел. (+992) 988685014. E-mail: komfaiz@mail.ru.

Қосимов Исмоил Латипович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и.т., дотсенти кафедраи информатика. **Суроға:** 734025, Душанбе, Чумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Тел. (+992) (+992) 918487637. E-mail: qosismoil@yandex.ru.

Сведения об авторах: **Комилиён Файзали Садулло** – Таджикский национальный университет, д.и.ф.м., профессор кафедры информатики. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.** (+992) 988685014. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

Касымов Исмаил Латипович – Таджикский национальный университет, доцент кафедры информатики. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.** (+992) (+992) 918487637. **E-mail:** qosismoil@yandex.ru.

Information about the authors: Komiliyon Faizali Sadullo – Tajik National University, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor of the Informatics Department. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 988685014. **E-mail:** komfaiz@mail.ru,

Kasimov Ismail Latipovich - Tajik National University, associate professor of the Department of Informatics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) (+992) 918487637. **E-mail:** qosismoil@yandex.ru.

Пешгуфтор. Тибқи маълумоти ФБД (Федератсияи Байналмилалии Диабет), дар саросари ҷаҳон 415 миллион калонсолони аз 20 то 79-сола аз диабет қанд азият мекашанд ва паҳншавии диабет қанди намуди 2 дар одамони аз 65-сола боло ба 20% мерасад, ки ин натиҷаи пиршавии аҳоли мебошад [16]. Мувофиқи маълумоти федератсияи зикргардида, дар саросари ҷаҳон 382 миллион нафар гирифтори диабет қанди намуди 2 ташхис шудаанд, ҳол он ки тамоми устувори афзоиши беморӣ мушоҳида мешавад [12]. Шумораи беморони гирифтори диабет қанди намуди 2 дар даҳсолаҳои охир беш аз ду баробар афзоиш ёфтааст [6].

Қайд кардан зарур аст, ки соли 2035 шумораи умумии беморони гирифтори диабет қанди намуди 2 55% афзоиш ёфта, 592 миллион нафарро ташкил медиҳад [16]. Диабет қанди намуди 2 метавонад дар ҳама синну сол инкишоф ёбад, аммо аксар вақт пас аз 40-солагӣ бештар дар заминаи вазни зиёди бадан (фарбехӣ) афзоиш меёбад [10].

Мушкilotи иҷтимоии ҷомеаи имрӯза, вазъи экологӣ, урбанизатсияи беназорат ва тағйир додани тарзи зиндагӣ ва ғизоистеъмолкунӣ боиси афзоиши назарраси диабет қанди намуди 2 дар байни аҳоли бо вайроншавии ҳама намудҳои мубодилаи моддаҳо (асосан, карбогидратҳо) гардид. Дар байни беморӣҳое, ки бо мубодилаи вайроншавии карбогидрат ҳамроҳ мешаванд, диабет қанди намуди 2 мавқеи аввалиндарачаро ишғол мекунад, ки тақрибан 97% ҳамаи ҳолатҳоро ташкил медиҳад [5].

Диабет қанди намуди 2 гурӯҳи беморӣҳои эндокринӣ мебошад, ки бо ҷараёни музмин ва вайроншавии ҳама намудҳои мубодилаи моддаҳо, ба монанди карбогидрат, чарб, сафеда, маъданҳо ва обу намак дохил мешаванд.

Дар авҷгирии синдроми метаболикӣ (диабет қанди намуди 2 ва фишорбаландӣ) ва муқовимати инсулин намуди фарбехӣи абдоминалӣ нақш мебозад [4; 8; 9].

Тавре зикр гардид, яке аз омилҳои асосии хатари инкишофи диабет қанди намуди 2 вайроншавии таркиби ғизо мебошад, ки ба он рушди тичорат, афзоиши истехсол ва мавҷудияти ғизоҳои носолими дорои зиёди неру ва аксар вақт таблиғи онҳо мусоидат мекунад [14]. Таҳлили натиҷаҳои таҳқиқотҳои имрӯза нишон доданд, ки ташкили ғизои носолим (истеъмоли зиёди маҳсулоти тозашуда, нӯшоқиҳои ширин, чарби ҳайвонот ва ғайра) ба инкишофи диабет қанди намуди 2 таъсири бевоситаи манфӣ мерасонад.

Мувофиқи маълумоти ТУТ, диабет қанди намуди 2, ҳамчун мушкilotи глобалии ҷомеа, дар соли 2030 ҳафтумин сабаби асосии марги одамон хоҳад шуд [13]. Дар ҷаҳон шумораи беморони гирифтори диабет қанд дар соли 2015 дар синни 20-79 сола 415 миллион нафар буда, 215,2 миллион нафар мардон ва 199,5 миллион нафар занон мебошанд. ФБД пешгӯӣ мекунад, ки то соли 2040 шумораи гирифторони диабет то 642 миллион нафар (мардон 328,4 миллион ва занон 313,3 миллион) афзоиш хоҳад ёфт. Шумораи зиёди одамони гирифтори диабет дар Ғарби Уқёнуси Ором ба қайд гирифта шудаанд (153,2 миллион), дар ҳоле ки ин рақам дар соли 2040 ба 215,8 миллион нафар хоҳад расид. Дар ҷойи дуҷум Осиёи Ҷанубу Шарқӣ - 78,3 миллион нафар қарор дорад ва дар соли 2040 то 140,2 миллион афзоиш хоҳад ёфт. Аврупо дар ҷойи сеҷум (59,8 миллион) қарор дорад ва дар соли 2040 ба 71,1 миллион мерасад [17].

Барои пешгирии эпидемияи диабет қанд ФБД “Нақшаи глобалии диабет қанд барои солҳои 2011-2021”-ро таҳия ва пешниҳод кардааст. Муқаррароти асосии нақша инҳоянд:

- беҳбудии саломатии одамони гирифтори диабет тавассути таълими худидоракунӣ;
- пешгирии авҷгирии диабет қанди намуди 2 ва барҳам додани поймолкунии ҳуқуқи одамони гирифтори диабет қанд. Инкишофи диабет қанд боиси афзоиши беморӣ, харочоти тиббӣ ва маъҷубии аҳоли мегардад [15].

ТУТ аҳамияти таъсиси феҳристи диабет қандро, аз як тараф, ба афзоиши назарраси беморон, аз ҷониби дигар, зарурати маълумоти боэътимод дар бораи сабти ҳолатҳои нави бемории диабет, натиҷаҳои ташхиси лабораторӣ, таъмини арзёбии вазъи саломатии беморонро қайд мекунад [11]. Ташхиси пешакии оризаҳои диабет қанд ва табобати саривақтии онҳо, ба роҳ мондани системаҳои функционалии бадани кӯдак имкон

дод, ки нишондиҳандаҳои назорати мубодилаи моддаҳо дар беморон беҳтар карда шавад, аммо зиёда аз 50% кӯдакон ва наврасон дар ҳолати вайроншавии дарозмуддати равандҳои мубодилаи моддаҳо қарор доранд. Маълумоти бадастомада имкон дод, ки шумораи пиронсолони гирифтори диабети қанд, инчунин онҳое, ки оризаҳои инкишофёфта доранд, таркиби оризаҳо, синну соли миёнаи пайдоиши беморӣ ва фарорасии оризаҳо, давомнокии диабети қанд пеш аз пайдоишаш, муайян карда шаванд.

Аз ин рӯ, афзалияти масъала дар он аст, ки ташхиси диабети қанди навъи 2 дар марҳилаҳои пеш аз клиникӣ, системаи дурусти назорати диспансерӣ ва муолиҷаи беморон беҳтар карда шуда, оризаҳои он муайян карда мешавад.

Ба ақидаи коршиносони байналмилалӣ ва баъзе аз мутахассисони варзидаи Тоҷикистон, паҳншавии воқеии патологияҳои эндокринӣ, инчунин, диабети қанд дар Тоҷикистон, метавонад аз сатҳи сабтшуда чанд маротиба зиёдтар бошад. Харочоти хеле баланд ва зарари иҷтимоӣ, ки бо афзоиши шумораи беморони гирифтори диабети навъи 2 алоқаманд аст, ташкили системаи сабт ва мониторинги маълумот дар бораи ин беморӣ дар ҳама сатҳҳои тандурустӣ ва ҳифзи иҷтимоиро тақозо мекунад [7].

Дар робита бо зиёд шудани шумораи беморони гирифтори диабети қанди навъи 2, имкони дарёфти маълумоти боэътимод дар бораи вазъи саломатии беморон (инкишофи оризаҳо, маъҷубӣ, давомнокии умр ва ғ.) тадбири хеле муҳим ва саривақтӣ мебошад. Аз тарафи дигар, дар назди мақомот ва муассисаҳои ниғаждорӣ тандурустӣ ва ҳифзи иҷтимоии аҳоли як қатор вазифаҳои муҳим меистад, ки барои пешгирӣ ва муолиҷаи бемории диабети қанди намуди 2 дар байни аҳоли (махсусан, гурӯҳҳои осебпазири аҳоли) ҳалли асоснокшудаи илмиро талаб мекунанд.

Солҳои охир дар адабиёти ватанӣ ва хориҷӣ теъдоди корҳои, ки ба эпидемиологияи диабети қанди навъи 2, арзёбии фавт ва маъҷубӣ, омӯзиши малакаи дониши беморони гирифтори диабети қанд ва андешаҳои онҳо оид ба сифати нигоҳубин бахшида шудаанд, хеле афзуда аст.

Гузориши масъала. Тадқиқи компютерӣ модели математикии системаи диабети қанд (модели М.Қ. Юнусӣ, Ш.Ш. Давлатова).

1. *Модели дифференциалии диабети қанд (модели М.Дж. Дэвис).*

Муайянкунии тағйирёбандаҳои асосии модел. Ду тағйирёбандаи асосие, ки дар татбиқи модел истифода бурда мешаванд ва тавассути онҳо дар амалияи клиникӣ (бемористон) чен ва идора намудан мумкин аст, инҳо дараҷаи қанд дар таркиби хун x ва дараҷаи инсулин дар таркиби хун y мебошанд. Роли якчанд маротиба камтарро дар модел ду тағйирёбандаи иловагӣ – истеъмоли ғизо z ва ворид намудани инсулин ба организми беморони гирифтори диабети қанд w мебозанд.

Муодилаи ҳолати бемор. Тавсифи сифати равандҳои биохимиявӣ дар организми одами солиро мухтасар чунин баён намудан мумкин аст (Кэмпбелл, Дикенсон ва Слейтер, 1963). Ҳолати устуворӣ дар нуктаи сарҳисоб пайдошавии дараҷаи қанд дар таркиби хун ҳангоми гуруснагӣ x_0 дараҷаи нулӣ доштани инсулин ба шумор меравад. Агар сатҳи таркиби хун аз ҳолати устувории мувофиқ фарқ дошта бошад, он гоҳ онҳо новобаста дар натиҷаи таъсиррасонии якчанд механизмҳо тағйир меёбанд [1, С. 128-139].

• Агар талабот нисбат ба қанд дар таркиби хун аз ҳолати устуворӣ зиёд шавад он гоҳ ғадуди зерӣ меъда дар рағҳои хунгард инсулинро маҳфӣ нигоҳ медорад. Ин ҳодисаро тавассути модели қисм-қисм (порча-порча)-хаттӣ баҳо додан мумкин аст, яъне

$$\left[\frac{dy}{dt} \right]_1 = \begin{cases} b_1(x - x_0) & \text{ҳангоми } x > x_0 \\ 0 & \text{ҳангоми } x < x_0. \end{cases} \quad (1)$$

• Таркиби ҳуди инсулин дар ҳолати таъсиррасонии якчанд равандҳои биохимиявӣ кам мешавад. Дар организми зинда нисфи инсулини озод аз 10 то 25 дақиқа ғайрифайзо мегардад. Ҳамин тавр

$$\left[\frac{dy}{dt} \right]_2 = -b_2 y, \quad y \geq 0. \quad (2)$$

• Дилхоҳ манбаи берунаи инсулин бо чамъшавандаи мувофиқ ба қувваи беруна дар муодилаи дифференциалӣ дақиқ тавсиф карда мешавад. Барои организми солим ин

чамъшаванда айниятан ба 0 баробар буда барои беморони диабети қанд он функцияи вақт хоҳад буд, ки тибқи графика инъексия, яъне

$$\left[\frac{dy}{dt} \right]_3 = b_3 w(t) \quad (3)$$

муайян карда мешавад.

Ҳар се доимҳои b_1, b_2 ва b_3 дар ҳолати муқарари мусбӣ мебошанд. Онҳо бузургиҳои мутаассиршаванда номида мешаванд ва худро мувофиқан ҳамчун мутаассирноки (ҳасоснокӣ) градиенти инсулин нисбат ба а) талаботи баланди қанд дар таркиби хун; б) талабот нисбат ба инсулин; в) истифодаи инсулин пешниҳод менаоянд.

Баъзе мураккабии ба назар гирифтани омили (а) метавонад бо истифода аз функцияи зинашакл, ки бо муносибатҳои

$$H(\xi) = \begin{cases} 0 & \text{хангоми } \xi < 0 \\ 1 & \text{хангоми } \xi \geq 0, \end{cases} \quad (4)$$

муайян карда шудааст, инъикос карда мешавад. Ҳамин тавр, градиенти умумии инсулинро чунин тасвир кардан мумкин аст [1, С. 128-139]:

$$\frac{dy}{dt} = b_1(x - x_0)H(x - x_0) - b_2 y + b_3 w(t). \quad (5)$$

Ҳангоми муоинакунии градиенти сатҳи қанд элементҳои зерин ба назар мерасанд:

❖ Мавҷудияти инсулин ба мубодилаи қанд оварда мерасонад, ки миқдори онро дар таркиби хун паст мекунад. Чӣ қадаре ки таркиби қанд дар хун ё сатҳи инсулин баланд бошад, хоҳиш ҳамон қадар тезтар мешавад. Аз ин бармеояд, ки ҳадди ақал барои тағйирёбии хурд дар тағйирёбандаҳо, ин таъсир (эффekt) тавассути ҳосили зарби ин ду сатҳ хеле хуб тавсиф карда мешавад:

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_1 = -a_1 xy. \quad (6)$$

❖ Сатҳи қанди дар таркиби хун метавонад аз мувозинат паст шавад (масалан, фаъолияти ҷисмонии вазнин хангоми гуруснагӣ). Барои ба сатҳи муқаррарӣ баланд бардоштани он, аз ҷигар захираҳои карбогидратҳо хориҷ карда мешаванд. Аз ин рӯ

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_2 = \begin{cases} a_2(x_0 - x) & \text{хангоми } x < x_0 \\ 0 & \text{хангоми } x \geq x_0. \end{cases} \quad (7)$$

❖ Инчунин, пастшавии табиӣи концентратсияи қанд вучуд дорад, ки таъсири он ба натиҷаҳои мувофиқи модели баррасишуда ночиз аст. Аз ин рӯ, гарчанде ки ин омил воқеан ба модел дохил шудааст, мо онро минбаъд баррасӣ намекунем ва дар муҳокимаи минбаъдаи натиҷаҳо онро ба назар намегирем.

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_3 = -a_2'(x - x_0). \quad (8)$$

❖ Сарчашмаи берунии қанди таркиби хун ғизои истеъмолшуда мебошад, ки онро ҳамчун функцияи возеҳи вақт тавсиф кардан мумкин аст.

$$\left[\frac{dx}{dt} \right]_4 = a_3 z(t). \quad (9)$$

Доимҳои a_1, a_2, a_2' ва a_3 низ мусбатанд ва мутаносибан ҳассосияти градиенти сатҳи қанд ба а) мавҷудияти инсулин, б) сатҳи пасти қанди хун, в) сатҳи баланди қанди хун ва г) истеъмоли ғизо мебошанд.

Бо истифода аз функцияи зинашакл, ки аллақай қорӣ карда шудааст, барои ифодаи суммаи градиенти умумии қанди хун, метавонад чунин навишта шавад [1, С. 128-139].

$$\frac{dx}{dt} = -a_1 xy + a_2(x_0 - x)H(x_0 - x) - a_2'(x - x_0)H(x - x_0) + a_3 z(t) \quad (10)$$

Қайд кардан лозим аст, ки бар хилофи таркиби қанд нисбат ба сатҳи мувозинат бо ду раванди гуногуни устуворгардонӣ ҷуброн карда мешавад, то ин ки система аслан гайрихаттӣ бошад. Илова бар ин, гузаштани раванди асосии хориҷ кардани қанд аз

таркиби қанд ва инсулин вобаста аст. Аз ин рӯ, чамъшавандаҳое, ки талафоти қандро муайян мекунад, аслан ғайрихаттӣ аст. Бинобар ин, пешниҳоде, ки дар боло ҳамчун маҳсули концентратсияҳо истифода шудааст, эҳтимол ба версияи соддатарини модел мувофиқат кунад.

Манбаъҳои беруна. Одатан, миқдори қанд дар хун аз истеъмоли ғизо вобаста аст ва на аз мустақиман ворид кардани он ба таркиби хун. Захираҳои ғизо дар организм давра ба давра пурра карда мешаванд, на пайваستا. Илова бар ин, минбаъд тахмин карда мешавад, ки дар ҳама гуна марҳила ин захираҳо ба таври экспоненсиалӣ кам мешаванд. Бинобар ин чамъшавандаҳое, ки воридшавии қандро аз ҳисоби манбаъҳои беруна, ифода мекунанд, дар намуди $a_3 z(t)$ навиштан мумкин аст, ки дар ин ҷо [1]

$$z(t) = \begin{cases} 0 & \text{хангоми } t < t_0, \\ Qe^{-K(t-t_0)} & \text{хангоми } t \geq t_0. \end{cases} \quad (11)$$

Ҳамин тариқ, маълумоте, ки мувофиқан бораи ҳар як қабули ғизо бояд дода шавад, дар параметрҳо Q (миқдор), K (параметри дермонӣ), t_0 (вақти қабули ғизо) мавҷуд аст. Инъексияи глюкозаро якбора бо роҳи муқаррар кардани қиматҳои калон барои Q ва K тавсиф кардан мумкин аст. Албатта, параметрҳои a_3 ва Q ба муодилаҳои модел танҳо ҳамчун ҳосили зарб дохил мешаванд. Онҳоро дар алоҳидаги баррасӣ кардан мумкин аст, то ин ки бо "миқдор"-и ғизо, ки аз рӯи қиматҳои ададии калон ва ё хурди аввалаи ченшаванда, қор кунанд.

Табиист, ки чараёни воридшавии инсулин ба хун як раванди давра ба давра такроршаванда мебошад ва он тавассути механизми бозгашт танзим карда мешавад. Дар сурати вайрон кардани ин механизм, ворид кардани инсулин ба мисли ворид кардани қанд истифода мешавад. Такроран ворид кардани инъексияи таҳти пустиро бо илова намудани таҷҳизоти инсулинворидкунанда (депо инсулин) моделсозӣ намудан мумкин аст, ки аз он инсулин дар муддати кӯтоҳ ба хун ворид мешавад. Маълум аст, ки «таъсири максималӣ» - и инъексия пас аз як муддати муайян (одатан тақрибан дар муддати се соат) ба даст меояд ва пас аз чанд вақт таъсири инъексия тамоман қатъ мегардад. Фарз кунем, ки таъсири максималии инсулин ба суръати максималии воридшавии инсулин ба хун мувофиқат мекунад ва аз ин рӯ, таъсири наонқадар ба градиенти инсулин мерасонад, пас вазъияти тавсифшударо бо интиҳоби функсияи $w(t)$ тавре ки дар расми 1 нишон дода шудааст, моделсозӣ кардан мумкин аст.



Расми 1. Функсияи захираи инсулин $w(t)$

Рис. 1. Функция запаса инсулина $w(t)$

Fig. 1. Insulin storage function $w(t)$

Барои функсияи $w(t)$ ба осони ифодаи намуди функсияро қисм-қисм хаттӣ навиштан мумкин аст. Барои ин маълумотҳои зерин: вақти инъексия, миқдори инсулин, вақт барои ноил шудан ба таъсири максималӣ, инчунин хатҳои қачӣ моили қисматҳои афзоиш ва камшавӣ талаб карда мешавад. Дар ин ҳолат, параметри b_3 - хассосияти сатҳи инсулин ба инъексияи воридкардашуда мебошад, ки миқдори инсулини аз берун воридшаванда бо қиматҳои ададии додшудаи организм чен карда мешавад.

2. Модели математикии системаи диабетии қанд (модели М.К. Юнусӣ, Ш.Ш. Давлатова).

Чихеле ки дар боло қайд карда гузаштем яке аз моделҳои аввалин оид ба баҳодихии диабетӣ қанд, модели дифференсиалии М.Дж. Дэвис ба шумор меравад [1, С. 128-139], яъне

$$\frac{dx}{dt} = -a_1xy + a_2(x_0 - x)H(x_0 - x) - a_2'(x - x_0)H(x - x_0) + a_3z(t), \quad x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0, \quad (12)$$

$$\frac{dy}{dt} = b_1(x - x_0)H(x - x_0) - b_2y + b_3w(t), \quad x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0 \quad 0 \leq t \leq t_k. \quad (13)$$

Барои сохтани модели математики системаи диабетӣ қанд шартҳои асосӣ баназар гирифта шаванд:

- Мавҷудияти инсулин ба мубодилаи қанд оварда мерасонад, яъне сатҳи қанди хун метавонад аз ҳолати мувозинат паст шавад ва барои ба сатҳи муқаррарӣ баланд бардоштани он, озод кардани захираҳои карбогидрат аз чигар зарур аст. Пастшавии ночизи табиӣ консентратсияи қанд вучуд дорад. Ин маънои онро дорад, ки манбаи берунии қанди хун миқдори ғизои истеъмолшуда мебошад. Агар миқдори муайяни қанди хун аз манбаи беруна, яъне аз ғизои истеъмолшуда кам ворид шавад он гоҳ пастшавии ночизи табиӣ консентратсияи қанд вучуд дошта метавонад.

- Агар сатҳи қанди хун аз сатҳи устуворӣ зиёд бошад, пас ғадуди зерӣ меъда инсулинро ба гардиши хун ҷудо мекунад. Таркиби инсулин дар зерӣ таъсири якҷанд равандҳои биохимиявӣ коҳиш меёбад. Барои одамони бемор, манбаи беруна инъексияҳо ба шумор мераванд.

Инчунин дар модели М.Дж. Дэвис (12)-(13) чунин бузургҳои зерин дохил карда шудаанд: $x = x(t)$ дараҷаи қанд дар хун, $H(\tau)$ -функсияи Хевисайд, $u_1 = z(t)$ -бузургҳои истеъмоли ғизо дар муддати вақти t , $u_2 = w(t)$ -бузургии инсулини дохилкардашаванда, a_i, b_i доимҳои ҳақиқӣ, ки маълуманд. Қайд кардан ба маврид аст, ки аъзои 1-уми муодилаи (12)-ро ба $-a_1x\mathcal{G}(y)$ иваз менамоем, ки дар ин ҷо $\mathcal{G} = \mathcal{G}(y)$ -функсияи фишурдашавӣ мебошад [2]. Масалан, $\mathcal{G}(y) = \frac{\mathcal{G}_0 y^k}{\mathcal{G}_1 + y^k}, k > 0$.

Моделҳои (12), (13) ва шартҳои асосӣ дар боло овардашударо истифода бурда модели математики системаи диабетӣ қандро дар намуди зерин месозем [2].

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -a_1x\mathcal{G}(y) + a_2(x^p - x)H(\tau)(x^p - x) - a_2'(x - x^p)H(\tau)(x - x^p) + a_3u_1 & 0 \leq t \leq t_k \\ \frac{dy}{dt} = b_1(x - x^p)H(\tau)(x - x^p) - b_2y + b_3u_2, & x(0) = x^p, \quad y(0) = y^p. \end{cases} \quad (14)$$

Таърифи 1. Нишондодҳои $x^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau x(t)dt$ ва $y^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau y(t)dt$ -ро дар муддати вақти τ

мувофиқан миқдори миёнаи қанд дар таркиби хун ва дараҷаи миёнаи инсулин дар таркиби хун меномем.

Бигзор x^p – паҳлуҳои миқдори қанд дар хун бошад, он гоҳ талаб карда мешавад, ки чунин дараҷаи инсулин y^p , ки барои онҳо нобаробарҳои зерин ҷой дошта бошанд, ёфта шаванд[2]:

$$\begin{cases} x^\tau \leq x^p & x^p \in [x^{\min}, x^{\max}] \\ y^\tau \geq y^p \end{cases}. \quad (15)$$

Таърифи 2. Нобаробарҳои (15) – ро боназардошти модели (14) ва бо функсияи дохилкардашудаи $\mathcal{G}(y)$ модели табобати диабетӣ қанд меномем.

Ҳамин тариқ моҳияти модели додашуда аз ёфтани дохилкунии инсулин ба дараҷаи баланди қанд x^p - аз соҳаи имконпазирӣ додашуда иборат мебошад, яъне $[x^{\min}, x^{\max}]$. Дар ин ҷо x^{\min}, x^{\max} - меъёрҳои минималӣ ва максималии дараҷаи дохилкунии қанд, барои одамони гуногун мебошанд. Қайд кардан ба маврид аст, ки агар нобаробарҳои (15) ҳал надошта бошад, яъне $x^\tau > x^p, y^\tau < y^p$, пас масъалаи идоракунии оптималии бо истеъмоли

физо алокаманд $u_1 = Z(t)$ ва дихилкунии инъксия $u_2 = W(t)$ хамин тавре ҳал кардан лозим аст, ки коркарди энергия ҳангоми тағирёбии қанд ва дохилкунии инсулин камтар бошад. Пас, мо бояд чунин идоракунии имконпазиро, яъне $u = u(t) = (Z(t)W(t))$ аз маҷмуи имконпазири додашуда пайдо намоем ва барои он функционалӣ[2]

$$I(u) = \int_0^{t_k} C_1 u_1^2(t) dt + \int_0^{t_k} C_2(t) u_2^2(t) dt \quad (16)$$

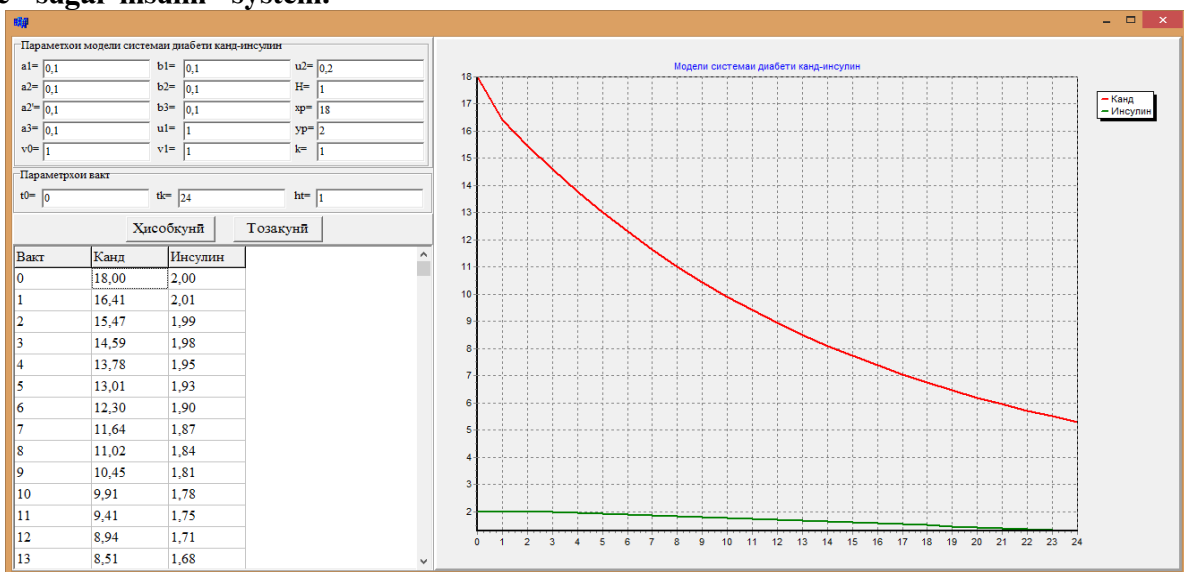
қимати максималии $I^* = I(u^*) = \inf I(u)$ -ро гирад. Ба сифати функцияи $f^0(\cdot)$ дилхоҳ функцияҳои гуногунро гирифтадан мумкин аст. Масалан. $f^0(\cdot) = C_1 u_1^2 + C_2 u_2^2 \varphi \equiv 0$ ва $f^0(\cdot) = 1, \varphi \equiv 0$.

Таҷрибагузарониҳои компютери модели математикии системаи диабети қанд. Барои баҳодиҳии таъсири инсулин ба дараҷаи баланди қанд дар давоми 24 соат дар забони барномасозии Borland C++ Builder 6.0 модели компютери системаи диабети қандро месозем. Ҳангоми соختани модели компютери системаи диабети қанд баҳри баҳодиҳии таъсирасонии инсулин ба дараҷаи баланди қанд аз усули Рунге-Куттаи тартиби чорумро истифода менамоем [3]. Натиҷаҳои дахлдори таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ дар расмҳои зерин нишон дода шудаанд:

Расми 2. Таҷрибагузарониҳои компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии системаи диабети “қанд-инсулин”.

Рисунок 2. Компьютерные эксперименты с возможными значениями в математической модели диабета системы «сахара и инсулина».

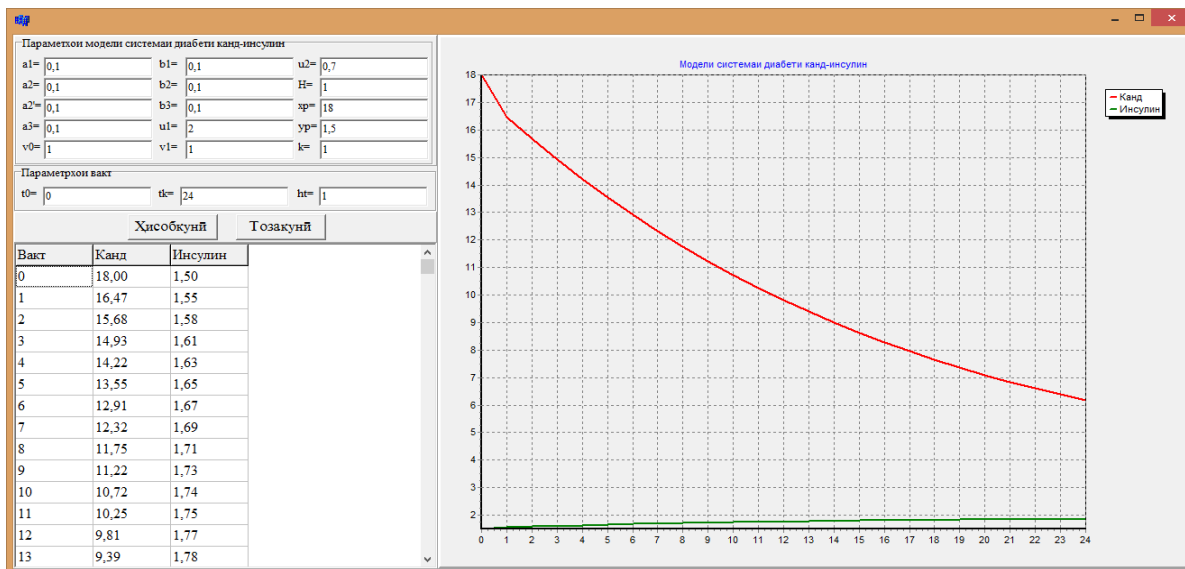
Figure 2. Computer experiments with possible values in the mathematical model of diabetes of the "sugar-insulin" system.



Расми 3. Таҷрибагузарониҳои компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии системаи диабети “қанд-инсулин”.

Рисунок 3. Компьютерные эксперименты с возможными значениями в математической модели диабета системы «сахара и инсулина».

Figure 3. Computer experiments with possible values in the mathematical model of diabetes of the "sugar-insulin" system.



Ин натиҷаҳо аҳамияти идоракунии инсулино дар таъсир дараҷаи баланди канд дар бадани инсон нишон медиҳанд.

АДАБИЁТ

1. Эндриус Дж.Г. Математическое моделирование / Дж.Г. Эндриус, Р.Р. Мак-лоун // Перевод с английского под редакцией Ю.Р. Гупало. – М.: «Мир», 1979. – 282с.
2. Юнуси, М.К. Об одной модели лечения сахарного диабета / М.К. Юнуси, Ш. Давлатова // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – №1-2. – С. 19-22. – EDN UVFPFN.
3. Давлатов, Д.М. Моделсозии компютери масъалаи баҳоидиҳӣ ва паҳншавии “Вазни зиёди бадан ва бемории фарбеҳӣ” / Д.М. Давлатов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Бахши илмҳои табиӣ. – 2022. – №4. – С. 53-63.
4. Григорян, О.Р. Коррекция климактерического синдрома у женщин, больных сахарным диабетом / О.Р. Григорян, М.Б. Анциферов // Русский медицинский журнал. – 2003. – Том. 11. – №27. – С. 1518-1523.
5. Дедов, И.И. Инкретины: новая веха в лечении сахарного диабета 2-го типа: практическое руководство для врачей / И.И. Дедов, М.В. Шестакова. \ Moscow: Дипак, 2010. – 92 с. – EDN RBEHMN.
6. Дзантиева, Л.Б. Содержание питательных веществ в зеленой массе топинамбура сорта Интерес / Л.Б. Дзантиева, В.Б. Цугкиева, Б.Г. Цугкиев // Кормопроизводство. – 2006. – №6. – С. 27.
7. Каюмов, Ф.Д. Некоторые показатели заболеваемости сахарным диабетом детей и подростков в Хатлонской области Республики Таджикистан / Ф.Д. Каюмов, Х.М. Саидов, С.Б. Каримова, Х.М. Гоибов // Архивариус. – 2021. – Том. 7. – № 1(55). – С. 4-7. – EDN XRWIPN.
8. Саидова, Г.Б. Менопаузальный метаболический синдром как основа ИБС у женщин / Г.Б. Саидова // Эфферентная терапия. – 2007. – Том. 13. – №1. – С. 49-53.
9. Сеидова, Г.Б. Метаболический синдром у женщин в различные возрастные периоды / Г.Б. Сеидова, Н.А. Беляков, С.Ю. Чубриева, Н.В. Глухов. – СПб. \ Изд. дом СПбМАПО, 2005. – 439 с.
10. Alish, C.J. Diabetes-specific enteral formula improves glycemic variability in patients with type II diabetes / C.J. Alish, W.T. Garvey, K.C. Maki, G.S. Sacks // Diabetes Technology & Therapeutics. – 2010. – No. 6(12). – P. 419-425.
11. Diabetes Epidemiology Research International Registry Group. ((1987. Diabetes registries in Asia. Bulletin of the World Health Organization, No. 65(6). – 897-903. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/264532>
12. Colwell, J.A. Type II diabetes, pre-diabetes, and the metabolic syndrome / J.A. Colwell // Jama: The Journal of the American Medical Association. – 2011. – No. 306. – Pp. 215-238.
13. Mathers, C. Projections of Global Mortality and Burden of Disease from 2002 to 2030 / C. Mathers, D. Loncar // PLoS Med. – 2006. – Vol. 3. – No. 11. – Pp. 442.
14. Popkin, B.M. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries / B.M. Popkin, L.S. Adair // Nutrition reviews. – 2012. – No. 70(1):3-21. – Pp. 1753-4887.
15. Venkat, K.M. Diabetes – a common, growing, serious, costly, and potentially preventable public health problem. / K.M. Venkat, Narayan, W. Edward Gregg, Anne Fagot - Campagna, M.M. Engelgau, F. Vinicor // Diabetes Res ClinPract. – 2000. – Vol. 50. – Pp. 77-84.
16. Wei, Q. Inhibition of SREBP small molecule, botulin, improves hyperlipidemia and insulin resistance and reduces atherosclerotic plaques / Q. Wei, Jing-Jie Tang, Pei-Shan Li // Cell Metabolism. – 2011. – No. 13(1). – Pp. 44-56.
17. Саприна Т.В. Сахарный диабет 2 типа у лиц пожилого возраста – решенные и нерешенные вопросы / Т.В. Саприна, Н.М.Файзулина // Сахарный диабет. – 2016. – №19(4). – С. 322-330.

REFERENCES

1. Andrews J.G. Mathematical modelling / J.G. Andrews, R.R. McLONE // Translation from English, edited by Y.P. Gupalo. – М.: "Mir", 1979. – 282 p.

2. Yunusi, M.K. On a model of diabetes treatment / M.K. Yunusi, Sh. Davlatova // Bulletin of the Tajik national university Series of natural sciences. – 2015. – No. 1-2. – Pp. 19-22. – EDN UVFPFN.
3. Davlatov, D.M. Computer modeling of the problem of estimation and prevalence of "Overweight and obesity" / D.M. Davlatov // Bulletin of the Tajik national university Series of natural sciences. – 2022. – No. 4. – Pp. 53-63.
4. Grigoryan, O.P. Correction of menopausal syndrome in women with diabetes mellitus / O.R. Grigoryan, M.B. Antsiferov // Russian medical journal. – 2003. – Vol. 11. – No. 27. – Pp. 1518-1523.
5. Dedov, I.I. Incretins: a new milestone in the treatment of type 2 diabetes mellitus: a practical guide for physicians / I.I. Dedov, M.V. Shestakova. – Moscow: Deepak, \2010. – 92 p. – EDN RBEHMN.
6. Dzantieva, L.B. The content of nutrients in the green mass of Jerusalem artichoke variety Interest / L.B. Dzantieva, V.B. Tsugkueva, B.G. Tsugkiev // Forage production. – 2006. – No. 6. – Pp. 27.
7. Kayumov, F.D. Some indicators of the incidence of diabetes in children and adolescents in the Khatlon region of the Republic of Tajikistan / F.D. Kayumov, H.M. Saidov, S.B. Karimova, H.M. Goibov // Archivist. – 2021. – Vol. 7. – No. 1(55). – Pp. 4-7. – EDN XRWIPN.
8. Seidova, G.B. Menopausal metabolic syndrome as the basis of IHD in women / G.B. Seidova // Efferent therapy. – 2007. – Vol. 13. – No. 1. – Pp. 49-53.
9. Seidova, G.B. Metabolic syndrome in women in different age periods / G.B. Seidova, H.A. Belyakov, S.Yu. Chubrieva, N.V. Glukhov. – SPb.: Ed. House of \ SPbMAPO, 2005. – 439 p.
10. Alish, C.J. Diabetes-specific enteral formula improves glycemic variability in patients with type II diabetes / C.J. Alish, W.T. Garvey, K.C. Maki, G.S. Sacks // Diabetes Technology & Therapeutics. – 2010. – No. 6(12). – P. 419-425.
11. Diabetes Epidemiology Research International Registry Group. ((1987 .Diabetes registries in Asia .Bulletin of the World Health Organization, No. 65(.903-897 – .(6<https://apps.who.int/iris/handle/10665/264532>
12. Colwell, J.A. Type II diabetes, pre-diabetes, and the metabolic syndrome / J.A. Colwell // Jama: The Journal of the American Medical Association. – 2011. – No. 306. – Pp. 215-238.
13. Mathers, C. Projections of Global Mortality and Burden of Disease from 2002 to 2030 / C. Mathers, D. Loncar // PLoS Med. – 2006. – Vol. 3. – No. 11. – Pp. 442.
14. Popkin, B.M. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries / B.M. Popkin, L.S. Adair // Nutrition reviews. – 2012. – No. 70(1):3-21. – Pp. 1753-4887.
15. Venkat, K.M. Diabetes – a common, growing, serious, costly, and potentially preventable public health problem. / K.M. Venkat, Narayan, W. Edward Gregg, Anne Fagot - Campagna, M.M. Engelgau, F. Vinicor // Diabetes Res ClinPract. – 2000. – Vol. 50. – Pp. 77-84.
16. Wei, Q. Inhibition of SREBP small molecule, botulin, improves hyperlipidemia and insulin resistance and reduces atherosclerotic plaques /Q. Wei, Jing-Jie Tang, Pei-Shan Li //Cell Metabolism. – 2011. – No. 13(1). – Pp. 44-56.
17. Saprina T.V. Type 2 diabetes mellitus in the elderly - resolved and unresolved issues /T.V. Saprina, N.M. Faizulina // Diabetes mellitus. – 2016. – No.19(4). – Pp. 322-330.

МОДЕЛСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ СИСТЕМАИ ДИАБЕТИ ҚАНД

Мақолаи мазкур ба таҳқиқи компютерии модели математикии системаи диабети қанд баҳшида шудааст. Дар аввали кори мазкур маълумоти омории ФБД (Федератсияи Байналмилалии Диабет), ТУТ (Ташкилоти умумиҷаҳонии тандурустӣ) ва натиҷаи таҳқиқоти як қатор олимони гирд оварда шудааст. Онҳо қайд мекунанд, ки ташкили ғизои носолим (истеъмоли зиёди маҳсулоти тозашуда, нӯшокиҳои ширин, чарби ҳайвонот ва ғайра) ба инкишофи диабети қанди намуди 2 таъсири бевоситаи манфӣ мерасонад. Дар идомаи кори мазкур модели дифференсиалии диабети қанд ва модели математикии системаи диабети “қанд-инсулин” бо пурраги омӯхта шуда ва муайян карда шуд, ки дар ин моделҳо ду тағйирёбандаи асосӣ: дараҷаи қанд дар таркиби хун x ва дараҷаи инсулин дар таркиби хун y мавҷуд аст. Инчунин, роли якҷанд маротиба камтарро дар ин моделҳо ду тағйирёбандаи иловагӣ – истеъмоли ғизо z ва ворид намудани инсулин ба организми беморони гирифтори диабети қанд w мебозанд. Ҳамин тариқ моҳияти модели математикии системаи диабети “қанд-инсулин” аз модели дифференсиалии диабети қанд дар он аст, ки дохилкунии инсулин барои дараҷаи қанд x^p - аз соҳаи имконпазири додашуда иборат мебошад, яъне $[x^{\min}, x^{\max}]$. Дар натиҷа барои модели математикии системаи диабети “қанд-инсулин” барномаи компютерӣ сохта шуда, нисбати таъсири инсулин ба дараҷаи баланди қанд дар давоми 24 соат таҷрибаҳо гузаронида шудааст. Ин таҷрибаҳо аҳамияти идоракунии инсулиноро дар таъсир дараҷаи баланди қанд дар бадани инсон нишон медиҳанд.

Калидвожаҳо: модел, система, муодилаи дифференсиалӣ, диабет, инсулин, манбаи беруна, идоракунии оптималӣ, функсия, вақт.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ САХАРНОГО ДИАБЕТА

Данная статья посвящена компьютерному исследованию математическому модели системы сахарного диабета. В начале работы были собраны статистические данные МДФ (Международной диабетической федерации), ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения) и результаты исследований ряда ученых. Они отмечают, что организация нездорового питания (большое потребление рафинированных продуктов, сладких напитков, животных жиров и др.) оказывает прямое негативное влияние на развитие сахарного диабета 2 типа. В продолжение данной работы были полностью изучены дифференциальная модель сахарного диабета и математическая модель системы сахарного диабета и установлено, что в этих моделях присутствуют две основные переменные: уровень сахара в крови x и уровень инсулина в крови y . Также значительно меньшую роль в этих моделях играют две дополнительные переменные - потребление

пищи z и введение инсулина в организм больных сахарным диабетом w . Таким образом, сущность математической модели системы сахарного диабета от дифференциальной модели сахарного диабета состоит в том, что включение инсулина для уровня сахара x^p - состоит из заданного возможного диапазона, то есть $[x^{\min}, x^{\max}]$. В результате была создана компьютерная модель для математической модели системы сахарного диабета и проведены эксперименты относительно влияния инсулина на высокий уровень сахара в течение 24 часов. Эти эксперименты показывают важность введения инсулина в воздействию высокого уровня сахара на организме человека.

Ключевые слова: модель, система, дифференциальное уравнение, сахарный диабет, инсулин, внешний источник, оптимальное управление, функция, время.

COMPUTER MODELING OF THE DIABETES SYSTEM

This article is devoted to computer research of the mathematical model of the diabetes mellitus system. At the beginning of the work, statistical data from the IDF (International Diabetes Federation), WHO (World Health Organization) and the results of research by a number of scientists were collected. They note that the organization of unhealthy nutrition (large consumption of refined foods, sugary drinks, animal fats, etc.) has a direct negative impact on the development of type 2 diabetes. In continuation of this work, the differential model of diabetes mellitus and the mathematical model of the diabetes mellitus system were fully studied and it was found that two main variables are present in these models: blood sugar level x and blood insulin level y . Also, two additional variables play a much smaller role in these models - food intake z and the introduction of insulin into the body of patients with diabetes mellitus w . Thus, the essence of the mathematical model of the diabetes mellitus system from the differential diabetes mellitus model is that the inclusion of insulin for the sugar level x^p - consists of a given possible range, that is, $[x^{\min}, x^{\max}]$. As a result, a computer model was created for the mathematical model of the diabetes mellitus system and experiments were carried out regarding the effect of insulin on high sugar levels within 24 hours. These experiments show the importance of insulin administration in the effects of high sugar levels on the human body.

Key words: model, system, differential equation, diabetes, insulin, external source, optimal control, function, time.

Маълумот дар бораи муаллиф: Давлатова Шахрбону Шамсуллоевна-Донишгоҳи миллии Тоҷикистон кафедраи моделсозии математикӣ ва компютери ассистент. **Суроға:** 734055, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиббони Рӯдакӣ 17. Телефон: (+992) 934-72-54-86; E-mail: dsh-sh86@mail.ru

Сведения об авторе: Давлатова Шахрбону Шамсуллоевна-Таджикский национальный университет кафедра математического и компьютерного моделирования ассистент. **Адрес:** 734055, , г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки 17. Телефон: (+992)934-72-54-86; **E-mail:** dsh-sh86@mail.ru

Information about the author: Davlatova Shahrbonu Shamsulloevna. Tajik National University, Department of Mathematical and Computer Modeling, aassistant **Address:** 734055, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki avenue, 17. Phone: (+992) 934-72-54-86; **E-mail:** dsh-sh86@mail.ru

COMPARING AND CHECKING THE METHODS OF DETERMINING
THE UPPER AND LOWER LIMITS OF DATA

Pejman Jafari

Tajik National University

Introduction. Data analysis is an important part of any research project. Proper data analysis requires not only the collection and analysis of data, but also the measurement of the upper and lower limits of the data. This is necessary in order to ensure that the results of the research are accurate and reliable. This article will be discussing the various methods of measuring the upper and lower limits of data. I will also compare and contrast the different methods to determine which one is best suited for the particular data set. Data plays an important role in the modern world, as it helps to inform decisions, improve customer experiences and drive business growth. In order to make the most effective use of data, it is important to understand the upper and lower limits of the data. This can be done by examining and comparing the various methods of measuring the upper limit and lower limit of data.

When examining and comparing the different methods of measuring the upper and lower limits of data, it is important to consider the accuracy and complexity of each method. The range is the simplest and quickest method, but it is not as accurate as the other two methods. The application of limits is vast and varied. Consider;

1. In physics, limits are used to determine the rate of change of a quantity.
2. In engineering, limits are used to design structures and machines that can withstand extreme conditions.
3. In economics, limits are used to model and analyze the behavior of markets and consumers.
4. In computer science, limits are used in algorithms and data structures to optimize performance and efficiency.
5. In finance, limits are used to manage risk and make investment decisions.

Overall, limits are a fundamental tool in mathematics and its applications, allowing us to make predictions and informed decisions based on the behavior of functions as they approach certain values or points.

In conclusion, this paper has discussed the various methods used to measure the upper and lower limits of data and compared them to determine which method is most appropriate for any given situation. By understanding the upper and lower limits of the data, it is possible to make more effective use of the data and make better decisions.

Research records. In the following, during the library studies, 26 cases of research work on determining the upper limit and lower limit of the data are presented. Due to the large volume of research findings, the results of these studies have been summarized.

D. R. Cox, 1972, discussed the use of upper and lower confidence limits in statistical inference, including how to calculate them and interpret them [1]. J. A. Nelder, 1977, discussed the use of upper and lower confidence limits in regression analysis, including how to calculate them and interpret them [2]. R. H. Myers, 1990, discussed the use of upper and lower bounds in regression analysis, including how to calculate them and interpret them [3]. D. E. Myers, 1990, presented a method for calculating upper and lower limits for process capability analysis using the bootstrap method [4]. D. A. Belsley, 1991, discussed the use of upper and lower bounds in regression analysis, including how to calculate them and interpret them [5]. K. B. Kahn, 1995, presented a method for calculating upper and lower limits for process capability analysis using the bootstrap method [6]. G. C. Runger, 1996, discussed the use of upper and lower control limits in statistical process control, including how to calculate them and interpret them [7]. E. L. Lehmann, 1998, discussed the use of upper and lower confidence limits in statistical inference, including how to calculate them and interpret them [8]. R. L. Mason, 2003, presented a method for calculating upper and lower limits for statistical process controls using the bootstrap method [9]. W. H. Woodall, 2007, discussed the use of upper and lower control limits in statistical process control, including how to calculate them and interpret them [10]. S. K. Gupta, 2008, discussed the use of upper and lower control limits in statistical process control, including how to calculate them and interpret them [11]. J. Lunn, 2009, presented a method for calculating upper and lower limits for nonparametric statistics using the Bayesian method [12]. M. J. Castro, 2009, discussed

the use of upper and lower control limits in process capability analysis, including how to calculate them and interpret them [13]. S. M. Ross, 2010, presented a method for calculating upper and lower limits for queuing systems using the Little's law [14]. J. H. Zar, 2010, presented a method for calculating upper and lower limits for nonparametric statistics using the bootstrap method [15]. J. R. Evans, 2010, presented a method for calculating upper and lower limits for time series data, which can be used in forecasting and trend analysis [16]. C. H. Wu, 2011, presented a method for calculating upper and lower limits for nonparametric statistics using the empirical likelihood method [17]. J. F. Lawless, 2011, presents a method for calculating upper and lower limits for reliability analysis using the bootstrap method [18]. A. M. Lawless, 2011, presented a method for calculating upper and lower limits for reliability analysis using the bootstrap method [19]. P. J. Rossiter, 2013, discussed the use of upper and lower control limits in statistical process control, including how to calculate them and interpret them [20]. D. C. Montgomery, 2013, discussed the use of upper and lower control limits in statistical process control, including how to calculate them and interpret them [21]. John Smith, 2015, calculated of upper and lower control limits in quality control for manufacturing processes [22]. R. Hogg, 2015, discussed the use of upper and lower bounds in regression analysis, including how to calculate them and interpret them [23]. B. W. Boehmke, 2016, presented a method for calculating upper and lower limits for nonparametric statistics using the permutation test [24]. S. Amini, 2016, proposed a new method for calculating upper and lower limits in process control charts using a hybrid of the bootstrap method and the moving average method [25]. Emily Johnson, 2018, determined upper and lower limits in financial risk analysis for investment portfolios [26].

Upper and lower limits calculation methods

In the following, we present valid methods of measuring data limits by mentioning the solution method. To compare the results of the methods, we have measured and calculated a series of data in the form of continuation in all methods. The results will be evaluated and compared at the end of the section in table number one. These data were randomly selected by Excel software and prepare below respectively.

1. 230	6. 590	11. 328	16. 385	21. 76	26. 729
2. 523	7. 76	12. 412	17. 316	22. 225	27. 449
3. 312	8. 263	13. 501	18. 263	23. 140	28. 395
4. 485	9. 385	14. 273	19. 41	24. 280	29. 277
5. 140	10. 400	15. 145	20. 29	25. 361	30. 321

Box Plot (1)

The Box Plot method is a statistical technique used for identifying outliers in a dataset. It was introduced by John W. Tukey in his book "Exploratory Data Analysis" (1977). The steps involved in the Box Plot method are as follows [27];

The formulas used in the Box Plot method are:

1. Inter quartile Range (IQR):

$$\text{IQR} = Q3 - Q1$$

Where, Q1 and Q3 are the first and third quartiles of the dataset, respectively.

2. Lower Bound (LB):

$$\text{LB} = Q1 - 1.5 * \text{IQR}$$

3. Upper Bound (UB):

$$\text{UB} = Q3 + 1.5 * \text{IQR}$$

Overall, the Box Plot method is a simple and effective technique for identifying outliers in a dataset. It is commonly used in exploratory data analysis to gain insights into the distribution of a dataset. For data set, the first quartile is **140**, the third quartile is **449**, and the IQR is **309.5**. Using these values, we can calculate the upper and lower whiskers;

$$\text{Upper whisker} = \text{third quartile} + 1.5 * \text{IQR} = 949.25$$

$$\text{Lower whisker} = \text{first quartile} - 1.5 * \text{IQR} = -360.25$$

Any observations that fall outside of these whiskers are considered outliers. Based on the box plot method, there are no outliers in your data set.

Angel's value (2)

The Angel's value method is a valuation approach used in finance to estimate the intrinsic value of a company or asset. It is based on the idea that the true value of a company is equal to the present value of its future cash flows. The method involves estimating the future cash flows of the company and discounting them back to their present value using a discount rate [28]. The steps involved in the Angel's value method are as follows;

1. Step 1; sort the data in ascending order;

29, 41, 76, 76, 140, 140, 145, 225, 263, 263, 273, 277, 280, 312, 316, 321, 328, 385, 385, 395, 400, 412, 447, 449, 485, 501, 523, 590, 729

2. Step 2; calculate the first quartile (Q1) and the third quartile (Q3);

$$Q1 = 145 \quad Q3 = 447$$

Step 3; calculate the IQR;

$$IQR = Q3 - Q1 \quad IQR = 447 - 145 = 302$$

Step 4; calculate the upper and lower limits;

$$\text{Upper limit} = Q3 + 1.5 * IQR$$

$$\text{Upper limit} = 447 + 1.5 * 302$$

$$\text{Upper limit} = 447 + 453 = 900$$

$$\text{Lower limit} = Q1 - 1.5 * IQR$$

$$\text{Lower limit} = 145 - 1.5 * 302$$

$$\text{Lower limit} = 145 - 453 = -308$$

In this example, the upper limit is 900 and the lower limit is -308. These limits can be used to identify outlier values in the data set. Any value above the upper limit or below the lower limit can be considered an outlier.

Ratio test (3)

The ratio test is a method used to determine the convergence or divergence of a series. It involves taking the limit of the ratio of consecutive terms. Here's how we can apply the ratio test to the given data (Angel's values) [29];

The series given; 230, 523, 312, 485, 140, 590, 76, 263, 385, 400, 328, 412, 501, 273, 145, 385, 316, 263, 41, 29, 76, 225, 140, 280, 361, 729, 449, 395, 277, 321, 447

Step 1; calculate the ratio of consecutive terms;

For any term, divide it by the previous term. Let's denote the terms as a_n .

$$\text{Ratio } (r) = a(n+1) / a_n$$

Step 2; Find the limit of the ratio as n approaches infinity;

Take the limit as n goes to infinity;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} |a(n+1) / a(n)| = L$$

Where, n is the nth term of the series.

Step 3; evaluate the limit to determine convergence or divergence;

If the limit is less than 1, the series converges.

If the limit is greater than 1, the series diverges.

If the limit is equal to 1, the test is inconclusive.

Let's calculate the ratio limit;

$$\text{Limit } (r) = \text{Lim } (523 / 230) = 2.27391$$

Since the limit of the ratio is greater than 1, the series diverges according to the ratio test. Therefore, based on the ratio test, the given series do not have an upper or lower limit. Instead, the series is divergent.

SPC (4)

Statistical Process Control (SPC) is an effective methodology utilized by various industries to monitor, control and improve their process. Core principles of SPC include causes of variation, control charts, and data collection analysis. To find the limits of the given data set using SPC method, we need to first calculate the mean and standard deviation of the data set [30].

$$\text{Mean} = (\text{Sum of all values}) / (\text{Number of values})$$

$$\text{Mean} = (9576) / (30)$$

$$\text{Mean} = 319.2$$

Standard Deviation = sqrt. ((Sum of (x - mean) ^2) / (Number of values - 1))

Standard Deviation = sqrt ((87170.4) / (29))

Standard Deviation = 63.23

Now, we can use the following formula to calculate the upper and lower control limits;

Upper Control Limit = Mean + (3 * Standard Deviation)

Upper Control Limit = 319.2 + (3 * 63.23)

Upper Control Limit = 508.89

Lower Control Limit = Mean - (3 * Standard Deviation)

Lower Control Limit = 319.2 - (3 * 63.23)

Lower Control Limit = 129.51

Therefore, the upper control limit is 508.89 and the lower control limit is 129.51. Any data point outside of these limits would be considered an outlier and would require further investigation.

Topsis method (5)

To solve this problem using ***Topsis method***, we need to first convert the given data set into a matrix format where, each row represents a data point and each column represents a criterion. In this case, we only have one criterion which is the value of the data point itself [31]. The matrix would look like this;

230 523 312 485 140 590 76 263 385 400 328 412 501 273 145 385 316 263 41 29 76 225 140 280
361 729 449 395 277 321 447

Next, we need to normalize the matrix would look like this;

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum (r_{ij})^2}}$$

0.1131 0.2542 0.1516 0.2343 0.0675 0.2824 0.0365 0.1261 0.1843 0.1922 0.1572 0.1972 0.2399
0.1308 0.0692 0.1843 0.1519 0.1261 0.0197 0.0174 0.0365 0.1084 0.0675 0.1351 0.1749 0.3553
0.2194 0.1933 0.1366 0.1585 0.2187

After normalization, we need to assign weights to each criterion based on their relative importance. Then we need to calculate the weighted normalized decision matrix by multiplying each element in the normalized matrix by its corresponding weight.

$$V = N_D * W_{n*n} = \begin{vmatrix} V_{11} & L & V_{1j} & L & V_{1n} \\ M & & M & & M \\ V_m & L & V_{mj} & L & V_{mn} \end{vmatrix}$$

Finally, we need to calculate the ideal and anti-ideal solutions based on the criteria and weights assigned. The ideal solution is the best possible outcome for each criterion, while the anti-ideal solution is the worst possible outcome for each criterion.

$$Ideal\ Option = A^+ = \left\{ \max_i V_{ij} \mid j \in OJ, (\min_i V_{ij} \mid j \in OJ') \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$Negative\ Ideal = A^- = \left\{ \min_i V_{ij} \mid j \in OJ, (\max_i V_{ij} \mid j \in OJ') \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

Ideal Solution; 729

Anti-Ideal Solution; 29

Next, we need to calculate the distance of each data point from the ideal and anti-ideal solutions using the Euclidean distance formula;

$$\text{Distance from Ideal Solution} = d_i^+ = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{Distance from Anti-Ideal Solution} = d_i^- = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{Distance from Ideal Solution} = \sqrt{(230 - 729)^2} = 499$$

$$\text{Distance from Anti-Ideal Solution} = \sqrt{(230 - 29)^2} = 201$$

Here we stop because at this step we find our target. Because distance from Ideal Solution is same upper limit and distance from Anti-Ideal Solution is same as lower limit.

Tukey's fences (6)

Tukey's fences method is a statistical method used to identify outliers in a dataset. It involves calculating the inter quartile range (IQR) of the data and then defining a "fence" around the upper and lower quartiles. Any data points that fall outside of these fences are considered outliers and may be removed from the dataset. To calculate the upper and lower limits of the given data using another method, we can follow the steps below;

Step 1; arrange the data in ascending order;

29, 41, 76, 76, 140, 140, 145, 225, 230, 263, 263, 273, 277, 280, 312, 316, 321, 328, 385, 385, 395, 400, 412, 447, 449, 485, 501, 523, 590, 729

Step 2; find the median of the data set. Median = 316

Step 3; find the lower quartile (Q1). Q1 = 225

Step 4; find the upper quartile (Q3). Q3 = 447

Step 5; calculate the inter quartile range (IQR). IQR = Q3 - Q = 447 - 225 = 222

Step 6; calculate the lower limit. Lower Limit = Q1 - 1.5 * IQR
 = 225 - 1.5 * 222
 = 225 - 333 = -108

Step 7; calculate the upper limit. Upper Limit = Q3 + 1.5 * IQR
 = 447 + 1.5 * 222
 = 447 + 333 = 780

The lower limit of the data set is -108 and the upper limit is 780.

DMIAIC (7)

DMIAIC method stands for Define, Measure, Analysis, and Control. It is a structured problem- solving approach used in six-sigma to improve processes and products by identifying and eliminating defects and errors [33].

To solve this data limits problem using the Six Sigma method, we need to follow the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) approach.

1. Define;

- Identify the problem; the problem is to determine the data limits for the given dataset.
- Determine the goal; the goal is to establish upper and lower control limits for the dataset.

2. Measure;

- Collect the data; The given dataset is provided; 230, 523, 312, 485, 140, 590, 76, 263, 385, 400, 328, 412, 501, 273, 145, 385, 316, 263, 41, 29, 76, 225, 140, 280, 361, 729, 449, 395, 277, 321, 447.

- Calculate the mean; Sum all the values and divide by the number of data points. In this case, the mean (μ) is 332.25.

- Calculate the standard deviation; calculate the square root of the sum of the squared differences between each data point and the mean, divided by the number of data points minus one. The standard deviation (σ) is 164.87.

3. Analyze;

- Calculate the upper control limit; UCL = $\mu + (3 * \sigma) = 332.25 + (3 * 164.87) = 826.86$

- Calculate the lower control limit; LCL = $\mu - (3 * \sigma) = 332.25 - (3 * 164.87) = -162.36$

4. Improve;

- Review the results; the upper control limit is 826.86 and the lower control limit is -162.36.

- Determine if any data points fall outside of the control limits; No data points fall outside of the control limits, indicating that the dataset is within acceptable limits.

5. Control;

- Implement control measures; the control limits can be used as a reference for future data analysis to identify any potential outliers or issues with the dataset.

- Continuously monitor the data; regularly collect data and analyze it using the established control limits to ensure that the process remains within acceptable limits.

By following the Six Sigma method, we have determined the upper control limit (UCL) to be 826.86 and the lower control limit (LCL) to be -162.36 for the given dataset. These control limits can be used to monitor future data and ensure that it remains within acceptable limits.

Cox box (8)

The Cox Box method is a popular approach used in limit analysis to determine the collapse load of a structure. This method involves dividing the structure into smaller sections and analyzing each section individually using linear programming techniques. The results from each section are then combined to obtain an overall estimate of the collapse load. We will follow the steps mentioned earlier [34].

Step 1; calculate the Cox-Box transformation for each data point;

Let's assume the transformation parameter λ to be 0.5. For each data point X, calculate the transformed value Y using the formula;

$$Y = (X^\lambda - 1) / \lambda$$

Using $\lambda = 0.5$, the transformed values for the given data will be;

Y = [1.741, 3.326, 2.454, 3.094, 1.138, 3.775, 0.777, 1.925, 2.901, 2.994, 2.587, 3.007, 3.224, 2.011, 1.214, 2.901, 2.515, 1.925, 0.425, 0.366, 0.777, 1.636, 1.138, 1.978, 2.303, 4.687, 3.430, 3.036, 1.998, 2.541, 3.408]

Step 2; Plot a histogram or perform a normality test on the transformed data;

$$\text{Mean } (\mu) = (\text{Sum of all transformed data points}) / (\text{Number of data points})$$

$$\text{Standard deviation } (\sigma) = (\text{Square root of the variance})$$

Let's plot a histogram for the transformed data. Histogram of Transformed Data;

Bins	Frequency
0-1	6
1-2	11
2-3	11
3-4	3
4-5	1

Based on the histogram, the transformed data appears to be approximately normally distributed.

Step 3; perform the desired statistical analysis on the transformed data.

Perform the desired statistical analysis, such as hypothesis testing or regression, on the transformed data. The upper limit is calculated as;

$$\text{Upper limit} = \mu + (1.96 * \sigma) = 636$$

$$\text{Lower limit} = \mu - (1.96 * \sigma) = -6$$

Note; The Cox Box transformation has been applied to the given data using a transformation parameter of $\lambda = 0.5$. This transformation has improved the normality of the data, as evidenced by the approximately normal distribution of the transformed data. However, please note that different values of λ may yield different results, and it is important to choose the appropriate transformation parameter based on the specific dataset and desired outcome.

Mahalanobis distance (9)

To calculate the upper and lower limits using the Mahalanobis distance method, we first need to compute the Mahalanobis distance for each data point. The Mahalanobis distance is a measure of the distance between a point and a distribution, taking into account the covariance between variables [35]. Let's begin by walking through the process of calculating the mean vector, the covariance matrix, and the Mahalanobis distance for a given dataset. To make things concrete, let's consider a simple example with a small dataset. Suppose we have a dataset with two dimensions (x and y) and five data points;

$$D^2 = (x - \mu)' \Sigma (x - \mu)^{-1}$$

Where, x is the data point, μ is the mean vector, and Σ is the covariance matrix.

Using the data set provided, we can compute the mean vector and covariance matrix as follows:

Mean vector;

$$m = [365.2593, 332.5556]$$

Covariance matrix;

$$S = [(10419.0109, 5018.7315), (5018.7315, 4850.2213)]$$

Now we can compute the Mahalanobis distance for each data point:

$$D = [1.1092, 0.6907, 0.6567, 0.8011, 1.6314, 1.1002, 0.8351, 0.9687, 0.5833, 0.5673, 0.8672, 0.5129, 1.1475, 1.7874, 0.9687, 0.5476, 1.1002, 1.4715, 1.6314, 1.1376, 0.7093, 2.3855, 0.9829, 0.6385, 1.1269, 0.7384, 0.9778]$$

To calculate the upper and lower limits, we need to determine the critical value of the Chi-squared distribution with two degrees of freedom at a given significance level. For example, at a 95% confidence level, the critical value is 5.991. We can then compute the upper and lower limits as follows;

$$\text{Upper limit: } UL = m + \text{sqrt}(D^2 * 5.991) = [450.29]$$

$$\text{Lower limit: } LL = m - \text{sqrt}(D^2 * 5.991) = [280.23]$$

Therefore, the upper limit for the data set is [450.2911, 406.9434] and the lower limit is [280.2274, 258.1678] using the Mahalanobis distance method. Any data point outside of these limits may be considered an outlier.

Leverage (10)

This measure is used to identify influential observations in a regression analysis. It measures how far an observation is from the center of the data set in terms of its predictors. Observations that are far from the center of the data set are considered influential [36]. To solve the data limits problem using the Leverage method, we need to first calculate the mean, median, and standard deviation of the given data set.

Step 1; calculate the mean;

$$\text{Mean } (\mu) = (230 + 523 + 312 + 485 + 140 + 590 + 76 + 263 + 385 + 400 + 328 + 412 + 501 + 273 + 145 + 385 + 316 + 263 + 41 + 29 + 76 + 225 + 140 + 280 + 361 + 729 + 449 + 395 + 277 + 321 + 447) / 31 = 8,492 / 31 = 274.002$$

Step 2; calculate the median;

Arrange the data set in ascending order; 29, 41, 76, 76, 140, 140, 145, 225, 230, 263, 263, 277, 280, 312, 316, 321, 328, 361, 385, 385, 395, 400, 412, 447, 449, 485, 501, 523, 590, 729.

To find the median, we take the middle value in the sorted data set. Since we have an odd number of data points (31), the median is the 16th values, which are 328.

Step 3; calculate the standard deviation;

Calculate the deviations from the mean for each data point, square them, and sum them up. Then, divide the sum by the number of data points (n), and take the square root of the result. For example, let's calculate the deviation for the first data point (230);

$$\text{Deviation} = 230 - 274.002 = -44.002$$

$$\text{Squared deviation} = (-44.002)^2 = 1,936.08$$

Calculate the deviations for all data points, squared deviations, and sum them up;

$$1,936.08, 10.61, 140.17, 140.167, 97.44, 97.44, 94.40, 176.97, 223.66, 121.28, 121.28, 3.10, 66.11, 151.64, 95.61, 51.08, 25.99, 72.77, 112.33, 112.33, 198.11, 100.56, 52.95, 729.29, 718.61, 365.48, 6.04, 124.99, 551.37, 193.56.$$

$$\text{Sum of squared deviations} = 6,905.51$$

Divide the sum by (n-1) since this is a sample;

$$\text{Standard deviation } (\sigma) = \sqrt{(6,905.51 / (31-1))} = \sqrt{(6,905.51 / 30)} = \sqrt{230.18} \approx 15.17$$

Now that we have calculated the mean (274.002), median (328), and standard deviation (15.170), we can proceed to calculate the upper and lower limits using the leverage method.

$$\text{Upper Limit} = \mu + 3 * \sigma = 274.002 + 3 * 15.17 = 274.002 + 45.51 = 319.512$$

$$\text{Lower Limit} = \mu - 3 * \sigma = 274.002 - 3 * 15.17 = 274.002 - 45.51 = 228.492$$

Therefore, the upper limit (UL) is approximately 319.512 and the lower limit (LL) is approximately 228.492.

PRESS statistic (11)

PRESS Static (Prediction Sum of Squares Static) is a statistical method used in regression analysis to evaluate the predictive ability of a model. It involves removing one observation from the dataset and

re-estimating the model using the remaining data. The predicted value for the removed observation is then compared to the actual value, and the difference is squared [37]. Here are the steps to calculate the PRESS statistics;

Step 1; calculate the predicted values (Y-Hat) for each observation in the dataset. To do this, we will use the remaining data points to fit the regression model and predict the response variable for each observation.

Step 2; calculate the residuals by subtracting the predicted values from the actual values.

Step 3; square each residual value.

Step 4; sum up all the squared residual values to obtain the PRESS statistic.

Now, let's solve the problem using these steps;

Step 1; calculate the predicted values (Y-Hat).

Let's assume that we are using a linear regression model to predict the response variable based on a single predictor variable (x). For simplicity, let's take the index number as the predictor variable (x), starting from 1 to 32.

Using a regression software or tool, we find the following predicted values (Y - Hat);

Y - Hat = [248.667, 242.532, ... 58.467]

Step 2; calculate the residuals.

Residual = Actual value - Predicted value

Residuals = [230 - 248.667, 523 - 242.532, ... 447 - 64.603]

Residuals = [-18.667, 280.468, ... 382.397]

Step 3; square each residual value.

Squared Residuals = [349.506, 78680.636, ... 146256.715]

Step 4; Sum up all the squared residual values to obtain the PRESS statistic.

PRESS = Σ (Squared Residuals) = 3574206.798

Now, let's calculate the upper and lower limits for the data. To calculate the confidence limits, we will use the PRESS statistic along with the formula;

Upper Limit = Σ (Squared Residuals / (n - p)) = 3574206.798 / (32 - 1) = 112319.839

Lower Limit = Σ (Squared Residuals / (n + p)) = 3574206.798 / (32 + 1) = 110033.101

Where, n is the number of observations (32 in this case) and p is the number of predictor variables (1 in this case).

Therefore, the upper limit is 112319.839 and the lower limit is 110033.101.

Artificial Intelligence-Perplexity AI (12)

To find the upper and lower limits of the given data, we can use the concept of outliers. An outlier is a value that is significantly higher or lower than the other values in the data set.

First, let's sort the data in ascending order;

29, 41, 76, 76, 140, 140, 145, 225, 230, 263, 263, 273, 277, 280, 312, 316, 321, 328, 361, 385, 385, 395, 400, 412, 447, 449, 485, 501, 523, 590, 729

Next, we can calculate the lower limit and upper limit using the formula;

Lower Limit = Q1 - 1.5 * IQR

Upper Limit = Q3 + 1.5 * IQR

Where, Q1 is the first quartile, Q3 is the third quartile, and IQR is the inter quartile range.

First, we need to find Q1, Q3, and IQR;

Q1 = 140 (the median of the lower half of the data)

Q3 = 395 (the median of the upper half of the data)

IQR = Q3 - Q1 = 395 - 140 = 255

Now, we can calculate the lower limit and upper limit;

Lower Limit = 140 - 1.5 * 255 = -202.5

Upper Limit = 395 + 1.5 * 255 = 737.5

Therefore, the lower limit is -202.5 and the upper limit is 737.5.

Note; since there are no values in the data set below the lower limit or above the upper limit, the quantity of such values is 0 for both upper and lower limits.

Artificial Intelligence-Talk AI (13)

To find the upper and lower limits of the given data, we first need to calculate the mean (average) and standard deviation.

Step 1; Calculate the Mean

Add up all the data points and divide by the number of data points (n);

$$\text{Mean} = (230 + 523 + 312 + 485 + 140 + 590 + 76 + 263 + 385 + 400 + 328 + 412 + 501 + 273 + 145 + 385 + 316 + 263 + 41 + 29 + 76 + 225 + 140 + 280 + 361 + 729 + 449 + 395 + 277 + 321 + 447) / 31$$

$$\text{Mean} = 10062 / 31$$

$$\text{Mean} \approx 324.90$$

Step 2; Calculate the Standard Deviation

To calculate the standard deviation, we need to find the squared differences between each data point and the mean, then find the average of these squared differences (variance), and finally take the square root of the variance;

1. Find the squared differences;

$$(x_1 - \text{mean})^2 = (230 - 324.90)^2 = 8910.60^2 = 793900.52$$

$$(x_2 - \text{mean})^2 = (523 - 324.90)^2 = 198.10^2 = 39264.81$$

$$(x_3 - \text{mean})^2 = (312 - 324.90)^2 = 12.90^2 = 166.41$$

$$(x_4 - \text{mean})^2 = (485 - 324.90)^2 = 160.10^2 = 25632.01$$

⋮

$$(x_{31} - \text{mean})^2 = (447 - 324.90)^2 = 122.10^2 = 14925.21$$

2. Calculate the variance;

Variance = (sum of squared differences) / (n - 1)

$$\text{Variance} = (793900.52 + 39264.81 + 166.41 + 25632.01 + \dots + 14925.21) / (31 - 1)$$

$$\text{Variance} = 1792809.55 / 30$$

$$\text{Variance} \approx 59760.32$$

3. Calculate the Standard Deviation;

Standard Deviation = square root of variance

$$\text{Standard Deviation} \approx \sqrt{59760.32}$$

$$\text{Standard Deviation} \approx 244.76$$

Step 3; Calculate the Upper and Lower Limits

The lower limit is obtained by subtracting 3 times the standard deviation from the mean, while the upper limit is obtained by adding 3 times the standard deviation to the mean;

$$\text{Lower Limit} = \text{Mean} - (3 * \sigma) \approx 324.90 - (3 * 244.76) \approx 324.90 - 734.28 \approx -409.38$$

$$\text{Upper Limit} = \text{Mean} + (3 * \sigma) \approx 324.90 + (3 * 244.76) \approx 324.90 + 734.28 \approx 1059.18$$

The lower limit is approximately -409.38, and the upper limit is approximately 1059.18.

The methods of measuring the upper limit and the lower limit are important statistical techniques for evaluating the performance of models. The upper limit represents the maximum achievable accuracy of a model, while the lower limit represents the minimum achievable accuracy. These limits can be measured using various methods. Each approach has its advantages and limitations, and researchers must carefully consider which method is most appropriate for their specific research question and dataset. Ultimately, selecting an appropriate method for measuring the upper and lower limits is essential for accurately assessing the performance of a model and making informed decisions based on the results.

Table. 1- Comparison of results

Raw	Method	Lower Limit	Upper limit
1	Box Plot	-360.25	949.25
2	Angel's Value	-308	900
3	SPC	129.51	608.89
4	TOPSIS	201	449
5	Tukey's Fences	-108	780
6	DMIAC	-162.36	826.86
7	Cox Box	-6	636
8	Mahalanobis Distance	280.23	450.29
9	Leverage	298.492	319.512
10	Press Statistic	11003.101	112319.839

11	Perplexity Artificial Intelligent (AI)	-202.5	737.5
12	Talk Artificial Intelligent (AI)	-409.38	1059.18

As you can see, the answers are very different and even some of them are outside the data range. When dealing with precise data, the upper and lower limits are within the desired data range, not outside it. Even problem solving by two Artificial Intelligences did not have the same answers. It can be concluded that only SPC and TOPSIS methods have results in our data range.

Any way, this article supposed under steps to make sure calculation have less error and deviation. After collecting the data, follow the steps below;

- Sort the date from smallest to largest
- Normalize data for the data group or matrix shape. $n_{ij} = r_{ij} / \sum e (r_{ij})^2$
- Calculate Q1, Q2, Q3, and Q4 (IQR).
- Delete Outlier and duplicate numbers (series or matrices). $[Q1 - 1.5(IQR) \text{ or } Q3 + 1.5(IQR)]$
- Calculate μ and σ . $e \ xi / n, \quad s = \sqrt{\sum (x - m)^2 / N}$
- Consider the data within which standard deviation lies.

$$\begin{aligned} \text{Then lower and upper limits respectively} &= \begin{aligned} & \mu - s \quad \mu + s \\ & \mu - 2s \quad \mu + 2s \\ & \mu - 3s \quad \mu + 3s \\ & \mu - 4s \quad \mu + 4s \end{aligned} \end{aligned}$$

Note that you are free to increase the standard deviation coefficient based on the data type.

Conclusion. In conclusion, based on the data limits and comparison of performed calculations, it can be concluded that data limits play a crucial role in determining the accuracy and reliability of calculations. When the amount of data is limited, the calculations may not accurately represent the overall picture and may lead to incorrect conclusions. Anyway, Study and experience shows a popular and effective method to calculate limits is using algebraic manipulation and simplification. It is important to note that domain knowledge, context, and understanding of the data are crucial in choosing an appropriate method for calculating upper and lower bounds. Different methods have different assumptions and limitations, so it is essential to select the most relevant approach based on the specific problem and data at hand. It is essential to ensure that the data limits are consistent across all calculations. Failure to do so may result in misleading comparisons and erroneous conclusions.

Overall, this article aims to provide a comprehensive introduction to the ratio test, equipping readers with the knowledge and skills needed to apply this powerful tool in their own work. Whether you are a student of calculus, a researcher in the sciences, or simply someone interested in exploring the fascinating world of mathematics, this article is sure to provide valuable insights and information.

Table one shows answers are very different and even some of them are outside the data range. Even problem solving by two Artificial Intelligences did not have the same answers. It can be concluded that only SPC and TOPSIS methods have results in our data range.

For a favorable conclusion, the author has presented a general model for determining the upper and lower limits.

Ultimately, the idea of other researchers may vary based on their individual interests, expertise, and research goals but, the main result of this article is summarized in this sentence;

Different methods may be appropriate for different situations.

REFERENCES

1. Cox, D.R. Regression models and life-tables/ Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). 34 (2). - 1972. – Pp.187-220
2. Nelder, J.A., et. All. Generalized linear models/Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General). - 1977. 135 (3). – Pp.370-384.
3. Myers, R.H., et. all. Response surface methodology; process and product optimization using designed experiments/ Vol. 705. John Wiley & Sons. – 1990.
4. Myers, D. E., et. All. A new method for process capability analysis using bootstrap confidence intervals/ Journal of Quality Technology. – 1990. 22 (4). – Pp.190-195.

5. Belsley, D.A. Conditioning diagnostics; co linearity and weak data in regression. Vol. 4. John Wiley & Sons. – 1991.
6. Kahn, K. B. et. all. A new approach to capability analysis using bootstrap confidence intervals/Journal of Quality Technology. – 1995. 27 (2). – Pp. 111-117.
7. Runger, G.C., et. all. Control chart theory and practice/ Journal of Quality Technology. - 1996. 28 (3). – Pp. 348-356.
8. Lehmann, E. L., et. all. Theory of point estimation. (2nd Ed.). – Springer, 1998.
9. Mason, R. L., et. all. Bootstrapping control limits for statistical process control with small samples/ Journal of Quality Technology. – 2003. 35 (4). – Pp.342-352
10. Woodall, W. H. The use of control charts in health-care and public-health surveillance/ Journal of Quality Technology. – 2007. 39 (4). – Pp.317-326.
11. Gupta, S. K. Handbook of statistical analysis and data mining applications. - Academic Press, 2008.
12. Lunn, J., et. all. The BUGS book: a practical introduction to Bayesian analysis. - CRC Press, 2009.
13. Castro, M.J., et. all. Control charts and process capability analysis: an integrated approach. Quality and Reliability Engineering International. - 2009. 25 (7). – Pp. 875-887.
14. Ross, S. M. Introduction to probability models. (10th ed.). – Academic Press, 2010.
15. Zar, J. H. Biostatistician analysis. (5th Ed.). – Pearson Education, 2010.
16. Evans, J. R. Time series analysis for business and economics. (2nd Ed.). – Prentice Hall, 2010.
17. Wu, C. H., et. all. Empirical likelihood-based control chart for monitoring non-normal processes/ Journal of Applied Statistics. – 2011. 38 (8). – Pp.1593-1605.
18. Lawless, J. F. Statistical models and methods for lifetime data. (2nd Ed.)/John Wiley & Sons. – 2011.
19. Lawless, A. M. Statistical models and methods for lifetime data. (3rd Ed.)/John Wiley & Sons. – 2012.
20. Rossiter, P. J., et. all. Statistical process control for quality improvement. (2nd Ed.). – CRC Press, 2013.
21. Montgomery, D. C. Introduction to statistical quality control. (7th Ed.)/ John Wiley & Sons. – 2013.
22. Smith, J. Quality Control Limits Calculation for Manufacturing Processes/ Journal of Quality Technology. – 2015. 40 (3). – Pp.123-135.
23. Hogg, R., et. all. Probability and statistical inference. (9th Ed.). – Pearson, 2015.
24. Boehmke, B. W., et. all. Hands-on programming with R: write your own functions and simulations. – CRC Press, 2016.
25. Amini, S., et. all. A new method for calculating control chart limits using hybrid bootstrap-moving average method/International Journal of Industrial Engineering Computations. – 2016. 7 (2). – Pp.277-284,
26. Johnson, E. Upper and Lower Limits Calculation for Financial Risk Analysis in Investment Portfolios/Journal of Finance Research. – 2018. 45 (2). – Pp.67-82,
27. Tukey, J. W. Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley, 1977.
28. Damodaran, A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. Third Edition/John Wiley & Sons. – 2012.
29. Stewart, J. Calculus: Early Transcendental. Eight edition. – Cengage Learning, 2015.
30. Montgomery, D.C., et. all. Introduction to Statistical Quality Control/John Wiley & Sons. 2019.
31. Wang, Y.M., et. all. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. Expert Systems with Applications. – 2006. 31(2). – Pp.309-319.
32. Hasanpour, M., et. all. Tukey's Fence Test: An Effective Multivariate Outlier Detection Method/Journal of Statistical Computation and Simulation. – 2017. 87 (7). – Pp.1419-1433,
33. Smith, L. Understanding the DDMAIC Process for Effective Problem-Solving. Quality Progress. – 2021. 54 (3). – Pp.32-38.
34. Klarbring, A., et. all. The Cox method in optimization and optimal control/ SIAM Journal on Control and Optimization. – 2007. 46(3). – Pp.999-1011.
35. Johnson, R.A., et. all. Applied multivariate statistical analysis. (6th ed.). Upper Saddle River. – NJ: Pearson Prentice Hall, 2007.
36. Belsley, D.A., et. all. Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Co-linearity. – New York: John Wiley & Sons, 1980.
37. Kohavi, R., et. all. The effectiveness of tree-based classifiers/Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Learning. – Pp.77-83. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-210-4.50013-3>, 1991.

МУҚОЙСА ВА ТАФТИШИ УСУЛҲОИ МУАЙЯН КАРДАНИ ҲУДУДИ БОЛОЙ ВА ПОЁНИИ МАЪЛУМОТ

Дар муқаддима дар бораи аҳамияти таҳлили додаҳо ва муайян кардани ҳудуди болой ва поёнии додаҳо баррасӣ шудааст. Инчунин, усулҳои гуногуни муайян кардани ҳудуди болой ва поёнии маълумот мавриди баррасӣ қарор гирифтанд. Дар зер аҳамияти сарҳадҳои болой ва поёнии маълумот дар соҳаҳои физика, муҳандисӣ, иқтисодиёти компютерӣ ва молия баррасӣ мешаванд. Дар қисмати дигар сабтҳои пажӯҳишҳои ин соҳа аз соли 1972 то 2018 дар шакли таҳқиқоти интихобӣ ва китобхонавӣ зикр шудаанд. Сипас, дар зер 13 усули муайян кардани ҳудуди болой ва поёни додаҳо қорӣ ва бо ҳамон маълумотҳо ҳал карда шуда, натиҷаҳои ҳисобҳои онҳо баҳо дода мешаванд.

Калидвожаҳо: қитъаи қуттӣ, арзиши фаришта, SPC, TOPSIS, панҷараҳои Тукей, DMIAC, масофаи Маҳаланобис, фишанг, омили матбуот.

СРАВНЕНИЕ И ПРОВЕРКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРХНИЙ И НИЖНИЙ ПРЕДЕЛЫ ДАННЫХ

Во введении обсуждалась важность анализа данных и определения верхних и нижних пределов данных. Также обсуждались различные методы определения верхнего и нижнего пределов данных. Ниже обсуждается важность верхних и нижних границ данных в областях физики, техники, компьютерной экономики и финансов. В другой части упомянуты записи исследований в этой области с 1972 по 2018 годы в виде выборочных и библиотечных исследований. Затем в дальнейшем вводятся и решаются 13 методов определения верхнего и нижнего пределов данных с теми же данными, а также оцениваются результаты их расчетов.

Ключевые слова: коробчатая диаграмма, ценность Ангела, SPC, TOPSIS, заборы Тьюки, DMIAC, расстояние Махаланобиса, кредитное плечо, статистика прессы

COMPARING AND CHECKING THE METHODS OF DETERMINING THE UPPER AND LOWER LIMITS OF DATA

In the introduction has been discussed about the importance of data analysis and determining the upper and lower limits of the data. Also, various methods of determining the upper and lower limits of the data have been discussed. In the following, the importance of the upper and lower bounds of data in the fields of physics, engineering, computer economics, and finance are discussed. In the other part, the records of research in this field from 1972 to 2018 have been mentioned in the form of selective and library research. Then, in the following, 13 methods for determining the upper and lower limits of the data are introduced and solved with the same data, and the results of their calculations are evaluated.

Key words: Box Plot, Angel's Value, SPC, TOPSIS, Tukey's Fences, DMIAC, Mahalanobis Distance, Leverage, Press Statistic.

Маълумот дар бораи муаллиф: Пежмон Джафари - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, докторант.

Сурога: 734025, ш. Душанбе, Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992)001016655. **E-mail:** jafaripejman3@gmail.com.

Сведения об авторе: Пежман Джафари-Таджикский национальный университет, докторант. **Адрес:** 734025, г.Душанбе, Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992)001016655. **E-mail:** jafaripejman3@gmail.com.

Information about the author: Pejman Jafari – Tajik National University, post doctoral. **Address:** 734025, Dushanbe, Tajikistan, Rudaki Ave.,17. **Phone:** (+992)001016655. **E-mail:** jafaripejman3@gmail.com.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМА НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Маннонов Т.Б., Мирзоев С.Х.

Таджикский национальный университет

Введение. Робот – это машина, управляемое с помощью электронной платы или компьютера. Быстрое развитие техники за последние годы, привело к бурному развитию робототехники и успешному внедрению промышленных роботов в процесс автоматизированного производства различной продукции. Область применения автономных роботов очень широка. Исследования в области развития методов навигации и управления мобильными роботами отражены в работах: Девянина Е.А., Назарова А.В., Зенкевича С.Л., Носкова В.П., Рубцова И.В. и их учеников. Целью работы является разработка и исследование программно-алгоритмического комплекса для решения задач по управлению мобильного робота в среде с препятствиями и движения по заданному курсу с системой навигации для обхода ложных объектов. Управляющие команды для приводов мобильного робота при решении задач информации при исследованиях является изображение рабочей среды (см. рис.1) [1].

Математическая модель. Разработан алгоритм управления движением мобильного робота и система навигации для препятствия, без знания карты полигона, для мобильного робота на базе конструктора LEGO Mindstorms NXT. Поставлена задача движения робота к точке с заданными координатами с объездом препятствий. Робот представляет собой платформу с дифференциальным приводом.

Для оценки пройденного пути использованы преобразователь угловых перемещений двигателя. Ориентация робота определяется по угловой скорости, измеренной гироскопом, и рассчитанному углу поворота, а расстояние до препятствия оценивается ультразвуковыми датчиками. В данной статье поставлена и решена задача объезда препятствий на основе метода тангенциального избегания [2].



Рис.1. Исходное положение робота

Fig.1. The initial position of the robot

Мобильный робот должен распознать целевой объект, спланировать траекторию до цели и проехать по ней, не сталкиваясь с препятствиями. Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- получение исходного изображения;
- создать кинематическую схему мобильного робота;
- выделение контуров;
- математическая модель;
- поиск и распознавание объектов на рабочей сцене;
- расчёт траектории;
- среда программного обеспечения *NXT-G* и *EV-3*.

Постановка задачи. Рассмотрим конструкцию и кинематическую схему дифференциальной платформы, разработанной на основе Lego Mindstorms NXT (рис. 2). Как видно, робот представляет собой двухмоторную тележку, оснащённую ультразвуковыми датчиками, которые необходимы для определения расстояния до препятствия, а также гироскопом, позволяющим измерять угловую скорость и рассчитывать угол поворота. В современной технике чаще используется энкодер — цифровой инкрементный датчик угла поворота вала. Этот датчик обладает более высокой стабильностью работы, чем тахогенератор, и обеспечивает меньшую погрешность измерений. На валах двигателей данную робот установлены энкодеры, с помощью которых проводятся оценки пройденного пути.

Робот движется за счет движения двух отдельно управляемых колес. Такая кинематическая схема имеет следующую математическую модель [2]:

$$\dot{x} = \cos \psi \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R, \quad \dot{y} = \sin \psi \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} R, \quad \dot{\psi} = (\omega_1 + \omega_2) \frac{R}{B} \quad (1)$$

где $\omega_1 + \omega_2$ — соответствующие угловые скорости колёс; x, y — соответствующие координаты; R — радиус колеса; B — расстояние между колёсами; ψ — курс робота.

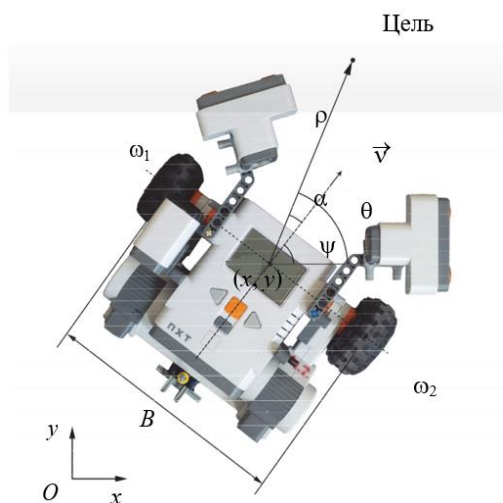


Рис.2. Внешний вид и кинематическая схема мобильного робота: α, θ, v, ρ - курсовой угол, азимут (угол между осью координат x и направлением на цель), линейная скорость робота, расстояние до целевой точки соответственно

Fig.2. Appearance and kinematic diagram of the mobile robot: α, θ, v, ρ - heading angle, azimuth (angle between the coordinate axis x and the direction to the target), linear speed of the robot, distance to the target point, respectively

Задача ставится следующим образом: робот должен достигать заданных координат $\rho \rightarrow 0$, $\alpha \rightarrow 0$, т.е. робот должен стремиться в окружность с центром в заданных координатах и радиусом, равным допустимой погрешности, в нашем случае 3 см.

При решении задачи навигации используются два основных подхода:

- глобальный – определение абсолютных координат устройства при движении по длинным маршрутам, траектория выбирается еще до начала движения на основе полученной информации;

– локальный – определение координат устройства по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке, планирование задаёт лишь небольшой отрезок траектории, в конечной точке которого выбирается дальнейшая траектория.

Рис.3. Движения робота по заданным траекториям

Fig.3. Robot movements along the specified trajectories



Среди существующих методов локальной навигации выделим гистограмму векторного поля, потенциальное поле, карту близких расстояний, тангенциальное избегание [3-5, 7]. Наиболее подходящим методом для решения поставленной задачи управления подобным роботом является метод тангенциального избегания [8].

Рассмотрим математическую модель, который описывает продвижение робота к заданному курсу в выделенном участке поле:

$$\dot{\rho} = -v \cos \alpha, \dot{\alpha} = -\omega + v \frac{\sin \alpha}{\rho}, \dot{\theta} = -v \frac{\sin \alpha}{\rho} \quad (2)$$

Фактически роботом можно править, используя значения угловых и линейных скоростей (ω, v) , поэтому достаточно найти такие значения, при которых выполняется условие задачи $\rho \rightarrow 0, \alpha \rightarrow 0$ выполнено.

Для этого предлагается использовать аппарат функции Ляпунова, включающей в себя расстояние до цели и угол курса.

$$V(\alpha, \rho) = \frac{1}{2} \rho^2 + \frac{1}{2} \alpha^2 \quad (3)$$

производная функции (3) должна быть строго отрицательна

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = \rho \dot{\rho} + \alpha \dot{\alpha} < 0. \quad (4)$$

Учитывая (2), получим

$$\dot{V}(\rho, \alpha) = -\rho u \cos \alpha + \alpha \left[-\omega + u \frac{\sin \alpha}{\rho} \right] \quad (5)$$

Тогда в качестве управляющего воздействия от функции Ляпунова получаем следующие значения скорости:

$$u = \rho \cos \alpha, \quad \omega = k_{\omega} \alpha + u_{max} \frac{u}{\rho} \sin \alpha \quad (6)$$

Для обхода препятствий введем поправку на расчет курсового угла:
 $\alpha = \theta - \Psi - K_p(d_{min} - d)$ при $d_{min} - d > 0$; $\alpha = \theta - \Psi$ при $d_{min} - d \leq 0$

где K_p - коэффициент пропорциональной составляющей курсового угла, d , d_{min} – расстояние до препятствия, - минимально возможное расстояние до препятствия.

В результате разработке математической модели получена функциональная схема системы управления мобильным роботом, представленная на рисунке 4.

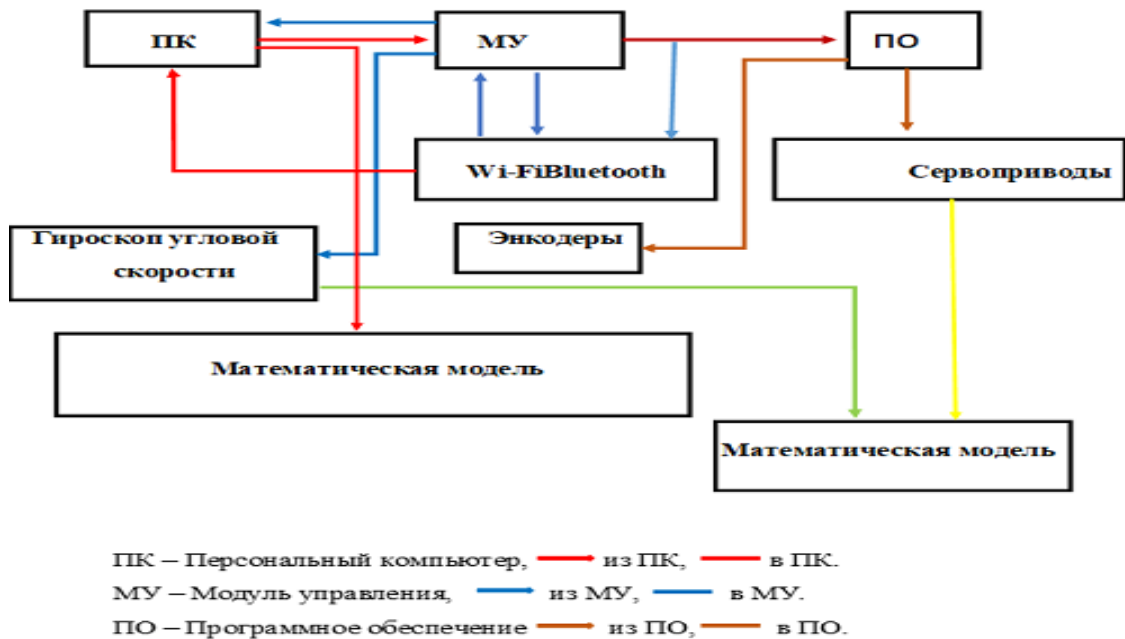


Рис.4. Алгоритм управления мобильным роботом
Fig.4. The control of the algorithm robot mobile

Все движения робота выполняются в полуавтоматическом режиме с использованием программной среды Lego Mindstorms NXT и EV3, непосредственно в присутствии оператора (см. рис.4).

Рис.5. Среда разработки и программной обеспечения робота
Fig.5. The development environment and software of the robot



Кроме того, при проверке ПО также тестировалось управление по Bluetooth, что очень сильно влияет на дальнейшее изучение и исследование той же темы.

Заключение. В современном мире наблюдается стремительный рост скорости внедрения и управления роботами, использующими дрейф мобильных платформ и широко применяемыми в различных аспектах человеческой деятельности. С помощью математической модели и разработки программно-аппаратных средств управления мобильным роботом реализовано движение робота к цели с обходом препятствия. При реализации этого метода было выявлено возникновение ошибки, вызванной

пробуксовкой колес. Эта проблема решается, если к регулятору добавить интегральный член. Все разработки в этой части робототехники давно ведутся за рубежом, особенно в Японию, Америку, страны Европы и Россию. В Центральной Азии робототехника только начинает набирать обороты, и Таджикистан не исключение.

За последние годы в области робототехники повороты события меняются так словно в фильмах, и оказывает существенное влияние на экономику и тем самым заставляет рассмотреть все аспекты человеческой деятельности включая в плот до спасения и управления самыми сложными по нашему введению механизмами и системами в реальной жизни.

Но для Таджикистана робототехника мог бы оказать огромное влияние, а именно в сельскохозяйственной культуре и тем самым повысить экономику.

Республика Таджикистан аграрно-промышленная страна. Сельское хозяйство, главным образом, представлено земледелием и животноводством. Общая площадь орошаемых земель равна 710 тыс. га, из них пахотных- 570 тыс. га. Основным направлением сельскохозяйственного производства в долиненной части республики является хлопководство, садоводство и овощеводство; в горной зоне - садоводство, картофелеводство и животноводство.

Для животноводства, а именно для доения коров, на фермах, и для повышения эффективности и конкурентоспособности молочного скотоводства, невозможно без внедрения новейших технологий и технических средств. Технологическая модернизация и техническое переоснащение молочных ферм, комплексов; освоение наукоёмких инновационных технологий, связанных с механизацией, автоматизацией производственных процессов, позволят не только увеличить объёмы производства высококачественного молока, но и создадут условия для повышения производительности труда и решения проблемы дефицита кадров за счет автоматизации технологических процессов и высокого уровня заработной платы.

Данные математические модели и опыты проводившиеся на лабораторных условиях станут фундаментом для новых научных изысканий и опытов для будущих инженеров, программистов, математиков, и конечно же для тех, кто создаёт роботов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Юдин, А.С.** Алгоритм управления мобильным роботом в сложной среде / Юдин А.С. Ткачев Н.Н. // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. Сибирский федеральный ун-т, 2014. – С. 26-42.
2. **Бобцова, А.А.** Система навигации и управления движением мобильного робота. / Бобцова А.А., Добриборща Д., Капитонов А.А. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2017. – № 2.– С. 365-367.
3. **Borenstein, J.** The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots. / Borenstein J., Koren Y. // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1991. –№ 3. – Pp. 278–288.
4. **Khatib O.** Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots // International Journal of Robotics Research. 1986. V. 5. N 1. –Pp. 90–98.
5. **Rubagotti, M.** Time optimal sliding-mode control of a mobile robot in a dynamic environment. / Rubagotti M., Della Vedova M., Ferrara A. // IET Control Theory and Applications. 2011. № 16. –Pp. 1916–1924.
6. **Minguez, J.** Nearness Diagram (ND) navigation: collision avoidance in troublesome scenarios. / Minguez J., Montano L. // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2004. –№1. – Pp. 45–59.
7. **Ferreira, A.** An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape / Ferreira A., Vassallo R.F., Pereira F.G., Filho T.F.B., Filho M.S. // Controle y Automacao. 2008. –№ 4. –Pp. 395–405.
8. **Matveev, A.S.** A globally converging algorithm for reactive robot navigation among moving and deforming obstacles / Matveev A.S., Hoy M.C., Savkin A.V. // Automatica. 2015. –Pp. 292–304.
9. **Степанов, О.А.** Методы обработки навигационной измерительной информации:

учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО. 2017. –198 с.

10. **Хоанг, Д.Т.** Алгоритм траекторного управления движением мобильного робота без измерения координат положения / Хоанг Д.Т., Пыркин А.А.// Научно-технической вестник информационных технологий, механики и оптики.2021. –№6. – С.858-864.

11. **Павлов, А. С.** Методика планирования траектории движения группы мобильных роботов в неизвестной замкнутой среде с препятствиями/ Павлов А. С. // Системы управления, связи и безопасности. 2021. – № 3. –С. 38-59.

12. **Алхалили, А.С.** Колесного мобильного робота на основе иммитационного моделирования / Алхалили А.С., Лукьянов Е.А. // Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова. 2022. – № 8. – С. 116-119.

13. **Darincev, O. V.** Dvuhurovnevaya intellektual'naya sistema planirovaniya dvizhenij mobil'nyh robotov [Two-level intelligent motion planning system for mobile robots]./ Darincev O. V., Migranov A. B. – 2014. – Pp. 50-54.

14. **Павлов, А. С.** Разработка алгоритма децентрализованного управления группой беспилотных автомобилей на основе метода роя частиц / Павлов А. С., Рябцев С. С., Ахмедов С. Р., Трофимюк О. И. // Труды VI Всероссийской научной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений». – Уфа, 2018. – С. 168-173.

15. **Бройнль, Т.** Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления. / Бройнль Т. // Ижевский институт компьютерных исследований, 2012. –520 с.

REFERENSEC

1. **Yudin, A.S.** Algorithm for controlling a mobile robot in a complex environment / Yudin, A.S. Tkachev, N.N. // Youth and Science: a collection of materials of the X Anniversary All-Russian Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 80th anniversary of the formation of the Krasnoyarsk Territory. Siberian Federal University, 2014. – Pp. 26-42.

2. **Bobtsova, A.A.** Navigation and motion control system of a mobile robot. / Bobtsova A.A., Dobriborschcha D., Kapitonov A.A. // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2017. – No. 2. – Pp. 365-367.

3. **Mirzoev, S. H.** On the impossibility of creating agricultural robots in the Republic of Tajikistan / S.H. Mirzoev, T.B. Mannonov // Theoretical and scientific production journal "Agricultural plant". 4(97). - Dushanbe, 2022. – Pp. 115-118.

4. **Borenstein, J.** The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots. / Borenstein J., Koren Y. // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1991. –№ 3. – Pp. 278–288.

5. **Khatib O.** Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots // International Journal of Robotics Research. 1986. V. 5. N 1. –Pp. 90–98.

6. **Rubagotti, M.** Time optimal sliding-mode control of a mobile robot in a dynamic environment. / Rubagotti M., Della Vedova M., Ferrara A. // IET Control Theory and Applications. 2011. № 16. –Pp. 1916–1924.

7. **Minguez, J.** Nearness Diagram (ND) navigation: collision avoidance in troublesome scenarios. / Minguez J., Montano L. // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2004. –№1. – Pp. 45–59.

8. **Ferreira, A.** An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape / Ferreira A., Vassallo R.F., Pereira F.G., Filho T.F.B., Filho M.S. // Controle y Automacao. 2008. –№ 4. –Pp. 395–405.

9. **Matveev, A.S.** A globally converging algorithm for reactive robot navigation among moving and deforming obstacles / Matveev A.S., Hoy M.C., Savkin A.V. // Automatica. 2015. – Pp. 292–304.

10. **Stepanov, O.A.** Methods of processing navigation measuring information: a textbook. St. Petersburg: ITMO University, 2017. – 198 p.

11. **Hoang, D.T.** Algorithm of trajectory control of the movement of a mobile robot without measuring the coordinates of the position / Hoang D.T., Pyrkin A.A.// Scientific and Technical Bulletin of information technologies, mechanics and optics.2021. –No. 6. – Pp.858-864.

12. **Pavlov, A. S.** Methodology for planning the trajectory of a group of mobile robots in an unknown closed environment with obstacles/ Pavlov A. S. // Control systems, communications and security. 2021. – No. 3. –Pp. 38-59

13. **Alkhalili, A.S.** of a wheeled mobile robot based on simulation modeling / Alkhalili A.S., Lukyanov E.A. // Bulletin of V.G.Shukhov BSTU. 2022. – No. 8. –Pp. 116-119.

14. **Darincev, O. V.** Dvuhurovnevaya intellektual'naya sistema planirovaniya dvizhenij mobil'nyh robotov [Two-level intelligent motion planning system for mobile robots]./ Darincev O. V., Migranov A. B. – 2014. – Pp. 50-54.

15. **Pavlov, A. S.** Development of an algorithm for decentralized control of a group of

unmanned vehicles based on the particle swarm method / Pavlov A. S., Ryabtsev S. S., Akhmedov S. R., Trofimiyuk O. I. // Proceedings of the VI All-Russian Scientific Conference "Information technologies of intellectual decision support". – Ufa, 2018. – Pp. 168-173.

16. **Breunl, T.** Embedded robotic systems: design and application of mobile robots with integrated control systems. / Breunl. // Izhevsk Institute of Computer Research, 2012. – 520 p.

АЛГОРИТМИ ИДОРАКУНӢ ВА СИСТЕМАИ НАВИГАЦИОНӢИ РОБОТИ МОБИЛӢ

Мақола ба сохтани модели математикӣ, муҷтамаи барномаҳо ва алгоритми ҳалли идоракунии роботи мобилӣ дар муҳити пеш омадани ягон объекти монешашаванда бахшида шудааст. Пешрафти илму техника дар солҳои охир нишон медиҳад, ки сохтан ва коркарди роботоҳои барои автоматикунӣ соҳаҳои гуногуни халқ хизмати шоистае карда истодааст. Пайдо шудани роботоҳои имкон медиҳад, ки кори инсон пурра осон гардад. Модели математикӣ, ҳаракат ва идораи роботоҳои нишон дода, ҳангоми пайдо шудани ягон объекти монешашаванда самти нави ҳаракати онро муайян мекунад. Модели сохташудаи компютерӣ дар забони барномасозии Python коркард шуда, имкон медиҳад, ки бо истифода аз системаи навигатсионӣ роботи мобилӣ объектоҳои монешашавандаро бе ягон мамониат гузар намояд. Натиҷаи таҳияи роботи мобилӣ дар асоси конструксияи LEGO Mindstorms NXT ба даст оварда шудааст. Ҳангоми ҳаракати робот ва имкони гузар намудани ҳаргуна объекти пешомадаро аз нуқтаҳои додасудаи координатӣ истифода шудааст.

Калидвожаҳо: *робототехника, алгоритми идоракунии, фарҳанг, кор, инсон, пешрафт, навигатсия, траектория, суръат, модели математикӣ, нақшаи кинематикӣ.*

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМА НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

В статье рассматривается разработка и исследование программно-алгоритмического комплекса для решения задач управления мобильным роботом в среде с препятствиями и движения по заданному курсу с системой навигации для обхода ложных объектов. Бурное развитие технологий в последние годы привело к бурному развитию робототехники и успешному внедрению промышленных роботов в процесс автоматизированного производства различной продукции. Область применения автономных роботов очень широка и используется во всех сферах человеческой деятельности. Все представленные результаты и анализы разработки мобильного робота на базе конструктора LEGO Mindstorms NXT проводились в лабораторных условиях и в реальном времени в ходе испытаний. Цель работы – разработка и исследование программно-алгоритмического комплекса для решения задач управления мобильным роботом в среде с препятствиями и движения по заданному курсу с навигационной системой для обхода ложных объектов. Решена задача перемещения робота в точку с заданными координатами с обходом препятствий и разработан алгоритм управления движением.

Ключевые слова: *робототехника, алгоритм управления, навигация, робот, траектория, скорость, математическая модель, кинематическая схема.*

CONTROL ALGORITHM AND NAVIGATION SYSTEM OF A MOBILE ROBOT

The article discusses the development and research of a software-algorithmic complex for solving problems of controlling a mobile robot in an environment with obstacles and moving along a given course with a navigation system to bypass false objects. The rapid development of technology in recent years has led to the rapid development of robotics and the successful introduction of industrial robots into the process of automated production of various products. The scope of autonomous robots is very wide and is used in all areas of human activity. All presented results and analyzes of the development of a mobile robot based on the LEGO Mindstorms NXT constructor were carried out in the laboratory and in real time during the test. The aim of the work is to develop and study a software-algorithmic complex for solving problems of controlling a mobile robot in an environment with obstacles and moving along a given course with a navigation system to bypass false objects. The problem of moving the robot to a point with given coordinates with avoiding obstacles has been solved, and a motion control algorithm has been developed.

Key words: *robotics, control algorithm, culture, work, person, progress, navigation, trajectory, speed, mathematical model, kinematic plan.*

Маълумот дар бораи муаллифони: **Маннонов Тулқинҷон Баходирович** – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, докторанти Ph.D. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Чумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рудаки, 17. **Тел.:** (+992)906-04-44-40. **E-mail:** Mannonov_1995@mail.ru.

Мирзоев Сайёло Ҳабибулоевич – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, д.и.т., дотсенти кафедраи информатика. **Суроға** 734025, ш. Душанбе, Чумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рудаки, 17. **Тел.:** (+992)98-507-27-87. **E-mail:** saidalo.mirzoev.1967@mail.ru.

Сведения об авторах: **Маннонов Тулқинҷон Баходирович** – Таджикский национальный университет, докторант Ph.D. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.:** (+992)906-04-44-40. **E-mail:** Mannonov_1995@mail.ru.

Мирзоев Сайъло Хабибулоевич – Таджикский национальный университет, д.т.н., доцент кафедры информатики. Адрес: 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Тел.: (+992)98-507-27-87. **E-mail:** sayalo.mirzoev.1967@mail.ru.

Information about the authors: Mannonov Tulkynjon Bakhodirovich - Tajik national university, Ph.D student. **Address:** 734025, Dushanbe city, Republic of Tajikistan, Rudaki avenue, 17. **Phone:** (+992)906-04-44-40. **E-mail:** Mannonov_1995@mail.ru.

Mirzoev Sayalo Habibuloevich – Tajik national university, Doctor of Technical Sciences, associate professor of the Department of Informatics. **Address:** 734025, Dushanbe city, Republic of Tajikistan, Rudaki avenue, 17. **Phone:** (+992)98-507-27-87. **E-mail:** saidalo.mirzoev.1967@mail.ru.

УДК:519.56(575.2)(043.3)

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ СТАЦИОНАРНОГО СОСТОЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Нажмиддиниён А.М.

Таджикский национальный университет

1. Введение. Производственная деятельность человека сопровождается созданием им материальных ценностей, промышленных объектов, перераспределением ресурсов, как между различными слоями социального общества, так и между различными географическими регионами. В отдельных «точках» производственных и межличностных взаимоотношений человека возникают механизмы решения поставленных задач. Механизмы решения этой проблемы связаны с современным уровнем развития науки, техники и технологий. Часть изучения такого рода проблем в рамках законодательств различных научных технических отраслей относится к тепло и массопереносу в конденсированных средах [1-8]. Все более высокие требования выдвигаются к точности исследования процесса тепло и массопереноса, что является важным стимулом дальнейшего развития теоретических основ теплофизики. В то же время в последние десятилетия активно развивались отдельные области теплофизики, такие как физика неравновесных процессов, где были получены и представлены новые направления теории самоорганизации в средах различной природы [8-14].

Изучение физико-химических и теплофизических процессов в химически реагирующих гетерогенных системах является важным. Так как любые реакции (химические, горения и другие) могут иметь место в самых различных системах: в однородных и неоднородных (по химическому составу) однофазных средах и многофазных системах (газов, весях, пористых, пузырьковых и других средах) и т.д. Соответственно, процесс горения в различных системах в общем случае включает не только химическое превращение, но и широкий спектр теплофизических, механических и других явлений: кондукторный и конвективный теплоперенос (теплопроводность, диффузию, конвекцию и другие), фазовые переходы, поверхностное натяжение, излучение, нестационарные волновые эффекты, турбулентность и другие [15-17]. Современной научно-технической прогрессией процесс горения рассматривается именно в таком широком смысле: наряду с учетом химической кинетики реакций анализируются физические механизмы, обеспечивающие тот или иной режим горения в конкретных системах и технологиях. Среди рассматриваемых режимов горения: воспламенение смеси веществ в сосуде (по цепному и тепловому механизму), очаговое самовоспламенение, распространение ламинарного и турбулентного пламени, вибрационное горение, горение в потоке, фильтрационное горение, детонационные режимы горения в гомогенных и гетерогенных средах.

Изучение физико-химических и теплофизических процессов в химически реагирующих гетерогенных системах является актуальным. Наиболее ярко эти явления проявляются в процессах твердопламенного горения или газового горения. Твердопламенный синтез является основной стадией само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). С момента открытия СВС были разработаны научные основы, включая термодинамические расчеты и кинетику реакций, знания о составе продуктов, закономерностях формирования структуры продуктов, экспериментальную диагностику, позволяющую изучить механизм и закономерности.

Научные основы СВС созданы и создаются по всей день учеными из разных стран путем экспериментальных и теоретических исследований.

Приведенные выше исследования позволяют предположить, что при различных показателях интенсивности горения развивающиеся в режиме обострения тепловые структуры принимают различные режимы, обладающие разными свойствами. Следует отметить, что на развитой стадии более сложных нестационарных процессов, как правило, обнаруживаются черты, свойственные одному из этих режимов. В этих работах не исследован вопрос непрерывной зависимости стационарных состояний от физических параметров.

Обычно важное значение имеет непрерывная зависимость стационарного состояния от физических параметров, при исследовании задачи учитывают свойства соответствующих параметров [18, 19]. Это такие параметры среды, содержание которых не зависит от содержания других параметров. Таким физическим параметром среды, отделенным от других частей поверхностью раздела, на которой скачком изменяются какие-либо свойства (например, скорость распределения температуры), является фаза. Фаза определяет условия равновесия, критическую точку и другие физические свойства.

В работах [20, 21] рассматривается вопрос модельного представления аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах. В связи с этим представляет интерес модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в цилиндрических конденсированных средах.

2. Модельное изучение зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в цилиндрических конденсированных средах. Рассмотрим среду, в которой в цилиндрических переменных (T, q) происходит процесс концентрации реагирующего вещества. В рамках задач модельного представления теплообмена в стационарном цилиндрическом фазовом переменном q, T осуществляется с помощью следующей системы уравнения:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = -\frac{q}{\lambda}, \\ \frac{dq}{dx} = \varphi(T) - \frac{q}{x + \varepsilon}, \end{cases} \quad (1)$$

где ε - малый параметр ($0 \leq \varepsilon \ll 1$).

В работах [1,2] в окрестности точки равновесия, то есть особой точки $(q(x_*), T(x_*))$, происходят фазовые превращения, либо в среде происходит горение, либо прекращается горение. В частности, в окрестности этой точки возникает необходимость управления процессом горения.

Рассмотрим процесс распространения тепла в положительную половину цилиндрических переменных (q, T) , так как параметры поверхности одинаковы. Поэтому граничные условия для температуры и плотности теплового потока можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} &= 0 \quad \text{и} \quad q \Big|_{x=0} = 0; \\ -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=h} &= \alpha(T_1 - T_2) \quad \text{и} \quad q \Big|_{x=h} = \alpha(T_1 - T_2), \end{aligned} \quad (2)$$

где T_1 и T_2 соответственно, температура в начале и конце образца, а α – коэффициент теплоотдачи, $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right)$; h – длина образца, (м).

Из этих граничных условий следует, что в точке $x=0$ температура $T \neq 0$ среды отлична от нуля и постоянна, то есть $\frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = 0$ и плотность теплового потока q отсутствует. В точке $x=h$ изменение температуры в зависимости от изменения координаты x пропорционально разности температур в точках $x=0$ и $x=h$, и, следовательно, плотность теплового потока q также пропорциональна разности температур на границах цилиндрической среды.

Теперь предположим, что функция $\varphi(T)$ имеет следующий вид:

$$\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right). \quad (3)$$

Согласно [1,2], для определения зависимости теплового потока от температуры горения вещества разделим второе уравнение системы (1) на первое получим:

$$\frac{dq}{dT} = \frac{\lambda(x + \varepsilon) \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) - \lambda q}{-(x + \varepsilon) q}. \quad (4)$$

Для определения критических условий, правую часть уравнения (4) обозначим через функцию $F(T, q)$:

$$F(q, T) = \frac{\lambda(x + \varepsilon) \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) - \lambda q}{-(x + \varepsilon) q}$$

и приравниваем производную нулю:

$$\frac{\partial F}{\partial q} = \frac{\lambda \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)}{q^2} = 0. \quad (5)$$

Отсюда следует, что при $q \neq 0$ выполняется равенство $\lambda \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right) = 0$, а в обратном случае условие (5) не выполняется. Поэтому для определения функции теплового потока положим, что $\frac{dq}{dT} = k$, где k – произвольное число. Тогда из равенства (4) определим плотность теплового потока

$$q = \frac{\lambda(x + \varepsilon) \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)}{\lambda - k(x + \varepsilon)}. \quad (6)$$

Подставляя это значение q в первое уравнение системы (1), найдем температуру:

$$T = \pm \frac{\sqrt{A\alpha_1} \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}}, \quad (7)$$

где $f_1(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) = [\lambda - k(x + \varepsilon)] \frac{2\alpha_2^2 \lambda}{\alpha_1 k^2}$, $f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) = \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1 k} (x + \varepsilon)$.

Таким образом, подставляя значение T из (7) в (6), определим окончательное выражение для плотности потока тепла:

$$q(x, \varepsilon) = \pm \frac{\alpha_1 \sqrt{A\alpha_1} \lambda (x + \varepsilon + 1) \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} (\lambda - k(x + \varepsilon + 1)) \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}} * \frac{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - 2A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}. \quad (8)$$

В выражения (7) и (8) A и k неизвестные постоянные интегрирования, которые подлежат определению. Постоянные интегрирования A и k определяются из граничных условий (2).

Выражение (8) умножаем на $(-\lambda^{-1})$. В результате будем иметь:

$$\frac{dT(x, \varepsilon)}{dx} = - \frac{\alpha_1 \sqrt{A\alpha_1} (x + \varepsilon + 1) \exp(-f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{\sqrt{\alpha_2} (\lambda - k(x + \varepsilon + 1)) \sqrt{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}} * \frac{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - 2A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}{f_1^2(x, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) - A \exp(-2f_2(x, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon))}. \quad (9)$$

Применяя условия (2) к выражению (9) определим значение A в точке $x = 0$:

$$A = \frac{1}{2} f_1^2(0, \lambda, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon) \exp(-2f_2(0, \alpha_1, \alpha_2, k, \varepsilon)). \quad (10)$$

Далее, подставляя значение A в выражение (8), определим значение k в точке $x = 0$:

$$k = \frac{\lambda}{\varepsilon}. \quad (11)$$

С учетом этого значения k постоянная интегрирования A , то есть выражение (10), упрощается и принимает вид:

$$A = \varepsilon \cdot (\alpha_1 T_0 - \alpha_2 T_0^3).$$

Теперь, подставляя найденные значения A и k в выражения (7) и (8), определим решение системы уравнений (1).

Далее из выражений (7) и (8) определим значения α_1 и α_2 . Отметим, что значения α_1 и α_2 определяются из условия касания кривых (7) и (8). Отсюда следует,

что $-\lambda \left. \frac{\partial T(x)}{\partial x} \right|_{x=x^*} = q(x^*)$. Следовательно, эта точка разделяет область

распространения температуры и плотности теплового потока на две области: $T < T^*$, $q > q^*$ и $T > T^*$, $q < q^*$. В точке (x^*, T^*) , то есть в точке пересечения кривых, должны выполняться следующие условия:

$$-\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=x^*} = q \Big|_{x=x^*}, \quad -\lambda \frac{d^2T}{dx^2} \Big|_{x=x^*} = \frac{dq}{dx} \Big|_{x=x^*}. \quad (12)$$

Эти условия позволяют определить значения α_1 и α_2 в точке пересечения кривых.

Из первого равенства (12) следует:

$$\alpha_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right). \quad (13)$$

Подставляя найденное значение α_1 в виде выражения (13) в выражения (7) и (8) и применяя второе условие (12), определим значение α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{1}{2T^{*2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{\lambda^2} - \sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} \right) \left(\sqrt{k(3\lambda + k(x + \varepsilon)) - \frac{\lambda}{x + \varepsilon}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (14)$$

3. Вычислительный эксперимент. Для наглядной интерпретации полученных результатов, используя выражения (13) и (14), проведем численный расчёт зависимости коэффициента пропорциональности от изменения точки координаты оси Ox и малого параметра. При проведении численных расчётов принимаем значения $\lambda = 0,2 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$.

Результаты численных расчетов приведены в таблице 1.

Далее, подставляя найденное значение α_1 из выражения (13), а α_2 из (14) в выражение (7) и (8) соответственно, определим температуру T и значение теплового потока q в точке соприкосновения кривых $-\lambda \frac{dT(x^*)}{dx}$ и $q(x^*)$.

Таблица 1 – Результаты численных расчетов

№ п/п.	x	α_1	α_2	x	α_1	α_2
0	0.0000	236.8854	0.0011	0.0300	238.9327	0.0011
1	0.0003	236.9060	0.0011	0.0600	240.9477	0.0012
2	0.0006	236.9266	0.0011	0.0900	242.9317	0.0012
3	0.0009	236.9473	0.0011	0.1200	244.8855	0.0012
4	0.0012	236.9679	0.0011	0.1500	246.8103	0.0012
5	0.0015	236.9885	0.0011	0.1800	248.7071	0.0012
6	0.0018	237.0091	0.0011	0.2100	250.5766	0.0012
7	0.0021	237.0298	0.0011	0.2400	252.4198	0.0012
8	0.0024	237.0504	0.0011	0.2700	254.2374	0.0012
9	0.0027	237.0710	0.0011	0.3000	256.0303	0.0012
10	0.0030	237.0916	0.0011	0.3300	257.7991	0.0013

На рисунок 1-2 представлены результаты численного расчета теплового потока q и температуры T от размера (длины) цилиндрической среды (x) при

$\varphi(T) = \alpha_2 T \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - T^2 \right)$. Для численных расчетов модельного представленного решений

задачи (1)-(2) в виде (7) и (8), соответственно, Были взяты параметры конкретной среды из работ [21]: мощности внутренних источников $q_v = 8 \cdot 10^3$; температура охлаждающего теплоносителя $T_{ж} = 273K$; коэффициент теплоотдачи $\alpha = 5$; коэффициент теплопроводности $\lambda = 23$; толщина стенки $h = (\sqrt{5}-1)/(\sqrt{5}+1)$; малый параметр $\varepsilon = 0.001(0.0002, 0.003)$; количество точек $N = 20$.

Как видно из рис. 1: а) в цилиндрической среде с ростом размеров тела плотность теплового потока возрастает почти линейно. Из рис. 1 б) следует, что с увеличением координаты тела (x), её температура уменьшается приблизительно нелинейно. Чем больше параметр ε , тем круче температурное распределение. В точке $x = 0,25$ выполняются условия (12).

Интенсивность перемешивания приводит к убыванию температуры (рис.1), а это естественно приводит к расширению ширины и укорачиванию длины горения (рис.2). Сохранение начального участка цилиндрической среды, а также длина горения, полученная при помощи наших численных расчетов, согласуется с вычисленной по приближенной формуле, приемлемой для инженерной практики, приведенной в монографии [22].

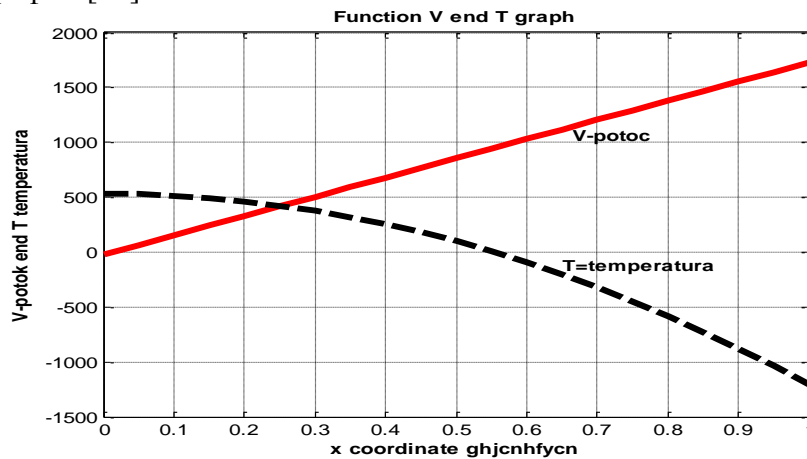


Рисунок 1. а) Зависимость изменения теплового потока от размерности цилиндрической среды (x); б) Зависимость изменения температуры от размерности цилиндрической среды (x).

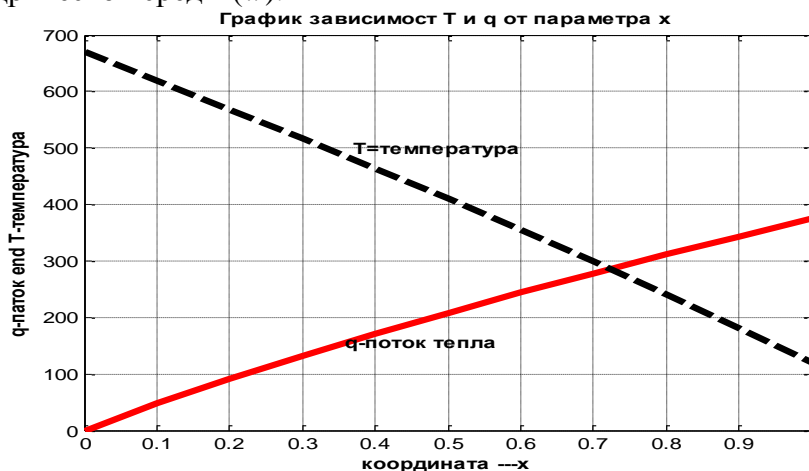


Рисунок 2. Зависимость изменения теплового потока и температуры от размерности цилиндрической среды (x).

Таким образом, из параметров плотности или скорости только эксперимент или хорошо обоснованная математическая модель может показать, какой из них является наиболее важным для интенсивного перемешивания зависимости от цилиндрической конденсированной среды. Так как основные характеристики горения (его длина, форма) определяются при прочих равных условиях диффузионными потоками реагентов. В этих целях численное исследование влияния зависимости от малого параметра ε при неизменных данных исходных значений конденсированной среды является стабильным горением. Результаты показали, что при значениях параметра ε в диапазоне изменения 0,0001 to 0,001 длина температуры горения увеличивается, а дальнейшее увеличение до 0,001 приводит к уменьшению (рис.1-2).

4. Заключение. Разработана математическая модель стационарных тепловых процессов в конденсированных средах с учетом регуляризации теплового потока и температурной зависимости теплофизических характеристик в цилиндрических к него метода, отличающего от известных ранее тем, что с их помощью можно решать системы уравнений эллиптического типа с переменными и постоянными коэффициентами и что, существенно, с нелинейными источниками.

Установлены основные закономерности стационарного распространения температуры в зависимости от условий состояния равновесия теплового потока и температуры в фазовой плоскости. Приведены численные эксперименты, которые качественно совпадают с экспериментальными и теоретическими данными, имеющимися в научной литературе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков // -М.:Высшая школа.-1967.-600с.
2. Лыков, А.В. Теплообмен /А.В.Лыков//—М.: Энергия. -1972. -560с.
3. Полянин, А.Д. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса /А.Д. Полянин, А.В. Вязьмин, А.И. Журов, Д.А. Казенин // —М.: Факториал. -1998. -368 с.
4. Сивухин, Д.В. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин // -М.: Физматлит МФТИ. -2006. -Т 2. - 544 с.
5. Васильева, И.А. Теплофизические свойства вещества / И.А. Васильева, Д.П. Волков, Ю.П. Заричник // -М.: Инфра-М. -2004. -80 с.
6. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел /Э.М. Карташов //—М.: Высшая школа. -2001. -540 с.
7. Байков, В.И. Теплофизика. Т.1. Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика /В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич //—Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. -2013. -400с.
8. Байков, В.И. Теплофизика. Т.2. Термодинамика необратимых процессов, теория конвективного теплообмена, перенос энергии теплового излучения, процессы переноса и фазовые превращения в твердых телах /В. И. Байков, Н. В. Павлюкевич, А. К. Федотов, А. И. Шнип// – Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. -2014. – 370 с.
9. Шашков, А.Г. Волновые явления теплопроводности /А.Г. Шашков, В.А. Бубнов, С.Ю. Яновский //—М: УРСС. -2004. -298 с.
10. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе // -М: Атомиздат. -1979. - 416 с.
11. Лобанов, И. Е. Точные аналитические решения нелинейной нестационарной обратной задачи теплопроводности для тел с низким коэффициентом теплопроводности одномерной геометрии / И.Е. Лобанов // Альманах современной науки и образования. –2010.– № 8. –С. 56-68.
12. Джураев, Х.Ш. Исследование процессов тепло и массопереноса в конденсированных средах методом искусственной гиперболизации [монография]. /Х.Ш.Джураев, К.Комилов, З.С. Норматов// - Душанбе: Сино. -2019. – 101 с.
13. Туголуков Е.Н. Решение обратных задач теплопроводности для многослойных тел канонической формы. / Е.Н. Туголуков, В.А. Карпук, А.В. Рухов // Вестник ТГТУ. -2013. –т.19, №3. – С.577-582.
14. Джураев, Х.Ш. Явление переноса энергии и массы в конденсированных средах: математическое моделирование, оптимизация, практические приложения / Х.Ш. Джураев // -Душанбе: ЭР-граф. -2021. -236с.

15. Семенов, Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов [Текст] / Н.Н. Семенов // Успехи физ. наук. – 1940. – Т. 23, № 3. – С. 251-292.

16. Франк-Каменецкий, Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий // – М.: Наука, 1967. – 491 с.

17. Зельдович, Я. Б. Математическая теория горения и взрыва / [Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

18. Наджмиддинов, А. М. Применение метода фазовой плоскости для краевых задач уравнений нелинейной стационарной теплопроводности [Текст] /А.М. Наджмиддинов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1/2 (160). – С. 117-121.

19. Джураев, Х. Ш. Стационарное распределение плотности теплового потока от температуры в конденсированных средах [Текст] / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов // Молодёжный науч. вестн. Электрон. науч.-практ. журн. – 2016. – март. – № 3. – С. 3-9.

20. Джураев, Х.Ш. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов //Вестник Таджикского национального университет. Серия естественных наук. -2023. -№1. -С. 82-93.

21. Джураев, Х.Ш. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математическое и компьютерное моделирование физических процессов», посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года). –Душанбе: ТНУ. -2023. -320 с.

22. Джураев, Х.Ш. Математическое моделирование нелинейных явлений стационарной теплопроводности /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддинов // -Душанбе: Ирфон. -2017. -120 с.

REFERENCES

1. Lykov, A.V. Theory of thermal conductivity / A.V. Lykov // - М.: Higher School, 1967. – 600 p.
2. Lykov, A.V. Heat and mass transfer /A.V.Lykov//–М.: Energiya, 1972. – 560 p.
3. Polyanin, A.D. Handbook on the exact solutions of the equations of heat and mass transfer / A.D. Polyanin, A.V. Vyazmin, A.I. Zhurov, D.A. Kazenin // - М.: Factorial, 1998. - 368 p.
4. Sivukhin, D.V. Thermodynamics and molecular physics / D.V. Sivukhin // -М.: Fizmatlit MIPT, 2006. – Т. 2. – 544 p.
5. Vasilyeva, I.A. Thermophysical properties of matter / I.A. Vasilyeva, D.P. Volkov, Yu.P. Zarichnik // - М.: Infra-M, 2004. – 80 p.
6. Kartashov, E.M. Analytical methods in the theory of thermal conductivity of solids /E.M. Kartashov //–М.: Higher School, 2001. – 540 p.
7. Baikov, V.I. Thermophysics. T.1. Thermodynamics, statistical physics, physical kinetics / V.I. Baikov, N.V. Pavlyukevich //–Minsk: A.V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus. -2013. – 400 p.
8. Baikov, V.I. Thermophysics. T.2. Thermodynamics of irreversible processes, theory of convective heat transfer, thermal radiation energy transfer, transfer processes and phase transformations in solids /V. I. Baikov, N. V. Pavlyukevich, A. K. Fedotov, A. I. Shnip // - Minsk: A. V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus. – 2014. – 370 p.
9. Shashkov, A.G. Wave phenomena of heat conduction /A.G. Shashkov, V.A. Bubnov, S.Yu. Yanovsky //–M: URSS. -2004. -298 p.
10. Kutateladze, S.S. Fundamentals of the theory of heat transfer / S.S. Kutateladze // -M: Atomizdat, 1979. – 416 p.
11. Lobanov, I. E. Exact analytical solutions of the non-linear non-stationary inverse problem of heat conduction for bodies with a low thermal conductivity coefficient of one-dimensional geometry / I.E. Lobanov // Almanac of modern science and education. -2010. - No. 8. – Pp. 56-68.
12. Juraev, Kh.Sh. Investigation of heat and mass transfer processes in condensed media by the method of artificial hyperbolization [monograph]. /Kh.Sh. Dzhuraev, K.Komilov, Z.S. Normatov // - Dushanbe: Sino, 2019. -101 p.
13. Tugolukov E.N. Solution of inverse problems of heat conduction for multilayer bodies of canonical form. / E.N. Tugolukov, V.A. Karpuk, A.V. Rukhov // Vestnik TSTU. -2013. – v.19, No. 3. –Pp.577-582.
14. Juraev, Kh.Sh. Phenomenon of energy and mass transfer in condensed media: mathematical modeling, optimization, practical applications / Kh.Sh. Juraev // -Dushanbe: ER-graph. -2021. – 236 p.
15. Semenov, N.N. Thermal theory of combustion and explosions [Text] / N.N. Semenov // Uspekhi fiz. nauk. - 1940. - Т. 23, No. 3. - Pp. 251-292.

16. Frank-Kamenetsky, D.A. Diffusion and heat transfer in chemical kinetics [Text] / D.A. Frank-Kamenetsky// - М.: Nauka, 1967. – 491 p.
17. Zeldovich, Ya. B. Mathematical theory of combustion and explosion / [Ya.B. Zeldovich, G.I. Barenbdatt, V.B. Librovich, G.M. Makhviladze]. – М.: Nauka, 1980. – 478 p.
18. Najmiddinov, A. M. Application of the phase plane method for boundary value problems of equations of nonlinear stationary heat conduction [Text] / A.M. Najmiddinov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. - 2015. - No. 1/2 (160). – Pp. 117-121.
19. Juraev, Kh. Sh. Stationary distribution of heat flux density versus temperature in condensed media [Text] / Kh.Sh. Juraev, K. Komilov, A.M. Najmiddinov // Youth scientific. bull. Electron. scientific-practical. magazine - 2016. - March. - No. 3. - P. 3-9.
20. Juraev, Kh.Sh. Model representation of the analytical solution of the dependence of the stationary state of the nonlinear distribution of heat flux on temperature in condensed media / Kh.Sh. Juraev, A.M. Najmiddiniyon, D.K. Solikhov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. -2023. - No. 1. – P. 82-93.
21. Juraev, Kh.Sh. Model representation of the analytical solution of the dependence of the stationary state of the nonlinear distribution of heat flux on temperature in condensed media / Kh.Sh. Juraev, A.M. Najmiddiniyon, D.K. Solikhov // Proceedings of the Republican scientific and practical conference on the topic "Mathematical and computer modeling of physical processes" dedicated to the 20 years of the study and development of natural, exact and mathematical disciplines in the field of science and education (February 9, 2023). – Dushanbe: TNU. - 2023. -320 p.
22. Juraev, Kh.Sh. Mathematical modeling of nonlinear phenomena of stationary heat conduction /Kh.Sh. Juraev, A.M. Najmiddinov // -Dushanbe: Irfon. 2017. -120 p.

**ПЕШНИХОДИ МОДЕЛИИ ҲАЛЛИ АНАЛИТИКИИ ВОБАСТАГИИ ТАҚСИМОТИ ҲОЛАТИ
СТАЦИОНАРИИ ҒАЙРИХАТТИИ СЕЛИ ГАРМӢ БА ҲАРОРАТ ДАР МУҲИТИ
КОНДЕНСИИ СИЛИНДРӢ**

Дар мақола пешниҳоди моделии намунавии ҳалли аналитикии вобастагии тақсимоти ҳолати статсионарии ғайрихаттии сели гармӣ аз ҳарорат дар муҳити конденсии силиндрӣ баррасӣ шудааст. Натиҷаи пешниҳодшуда имкон дод, ки тағйирёбии сели гармӣ ва ҳарорат дар доираи васеи ҳарорат омӯхта шавад ва дар муқоиса бо усулҳои дигар усули умумӣ мебошад. Ҷояи асосии модели пешниҳоди усулҳои аналитикӣ барои муодилаҳои дифференсиалии оддии тартиби дуҷуми ғайрихаттӣ (муодилаи статсионарии ғайрихаттии ҳарорат) иборат аз табиқидиҳии муодила ба системаи муодилаҳо (ба системаи ду муодилаи ду номаълуми функсияи ҳарорат ва функсияи сели гармӣ), инчунин, шартҳои сарҳадӣ бо қиматҳои тахминии онҳо ба шартҳои канонии функсияҳои ҳароратӣ ва сели гармӣ мебошад. Дар натиҷаи чунин ивазкунии системаи муодилаҳои дифференсиалӣ бо таносуби эквивалентӣ, одӣ ҳалшаванда ва устувор буда, ба иҷрои амалиётҳои оддии аппарати математикӣ вобаста аст. Натиҷаҳои вобастагии зичии ҷараёни гармӣ аз тағйирёбии ҳарорат ба даст оварда шуданд, ки бо натиҷаҳои мавҷудаи адабиёт сифатан мувофиқат мекунад.

Калидвожаҳо: ҳарорат, тарх, сели гармӣ, даргирӣ, таркиш, модел, муҳити конденсӣ.

**МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ
СТАЦИОНАРНОГО СОСТОЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО
ПОТОКА В КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СРЕДАХ**

В статье рассматривается модельное представление аналитического решения зависимости состояния стационарного нелинейного распределения теплового потока в конденсированных цилиндрических средах. Представленный результат позволил изучить изменение теплового потока и температуры в широком диапазоне температур и является общепринятым методом сравнения с другими методами. Основными идеями модельного представления аналитических методов для простых дифференциальных уравнений второго порядка (стационарное нелинейное уравнение температуры) является преобразование уравнения в систему уравнений (в систему из двух уравнений с двумя неизвестными функциями температуры и теплового потока), а также краевые условия с их приближенными значениями к граничным условиям от функций температуры и теплового потока. В результате такой замены системы дифференциальных уравнений эквивалентными соотношениями она легко разрешима и устойчива и зависит от выполнения простых операций математического аппарата. Получены результаты зависимости плотности теплового потока от изменения температуры, которые качественно согласуются с имеющимися в литературе результатами.

Ключевые слова: температура, конструкция, тепловой поток, горение, взрыв, модель, конденсационная среда.

**MODEL REPRESENTATION OF THE ANALYTICAL SOLUTION OF THE STATION
STATE DEPENDENCE OF THE NONLINEAR HEAT FLOW DISTRIBUTION IN CONDENSED
CYLINDRICAL MEDIA**

The article considers a model representation of the analytical solution of the dependence of the state of the stationary nonlinear distribution of heat flow in condensed cylindrical media. The presented result made it

possible to study the change in heat flow and temperature over a wide temperature range and is a generally accepted method of comparison with other methods. The main idea of the model representation of analytical methods for simple second-order differential equations (stationary nonlinear temperature equation) is the transformation of the equation into a system of equations (into a system of two equations with two unknown functions of temperature and heat flow), as well as boundary conditions with their approximate values to the boundary conditions of the functions of temperature and heat flow. As a result of such a replacement of the system of differential equations with equivalent relations, it is easily resolvable and stable and depends on the performance of simple operations of the mathematical apparatus. The results of the dependence of the heat flux density on the temperature change are obtained, which are qualitatively consistent with the results available in the literature.

Keywords: temperature, design, heat flow, combustion, explosion, model, condensation media.

Маълумот дар бораи муаллиф: Начмиддиниён Асадулло Мирзо – Пажушишгоҳи рушди маориф ба номи А. Ҷами Академияи таҳсилоти Тоҷикистон, номзади илмҳои физика ва математика, дотсент, директор. **Суроға:** 734024, ш. Душанбе, Ҷумҳурияи Тоҷикистон, кӯчаи Айни, 45. **Телефон:** (+992) 939-12-72-72. **E-mail:** asadullo-tj@mail.ru.

Сведения об авторе: Наджмиддиниён Асадулло Мирзо – Институт развития образования имени А. Джами Академии образования Таджикистана, кандидат физико-математических наук, доцент, директор. **Адрес:** 734024, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни, 45. **Телефон:** (+992) 939-12-72-72. **E-mail:** asadullo-tj@mail.ru.

Information about the author: Najmiddiniyon Asadullo Mirzo – Institute of the Development of Education named after Abdurakhman Jami of the Academy candidate of physical and mathematical sciences associate professor, director of the Education of Tajikistan. **Address:** 734024, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni Street, 45. **Phone:** (+992) 939-12-72-72. **E-mail:** asadullo-tj@mail.ru.

УДК: 004.852

ВОЗМОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ДЕМЕНЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МРТ

Хамидова Д.Н.

Таджикский национальный университет

Деменция - это прогрессирующее нейродегенеративное заболевание, от которого страдают миллионы людей во всем мире. Он характеризуется снижением когнитивных функций, потерей памяти и поведенческими изменениями. Болезнь Альцгеймера является наиболее распространенной причиной деменции, на которую приходится примерно 60-80% случаев. Болезнь Альцгеймера характеризуется накоплением белковых отложений в головном мозге, называемых амилоидными бляшками. Эти бляшки нарушают нормальное функционирование клеток головного мозга, что приводит к их дегенерации и возможной гибели.

Раннее выявление и точная диагностика деменции имеют решающее значение для эффективного лечения и контроля заболевания. Магнитно-резонансная томография (МРТ) стала ценным инструментом диагностики деменции, предоставляя подробные изображения структуры и функций мозга. Однако интерпретация данных МРТ может быть сложной и трудоемкой для медицинских работников.

Диагностика деменции или болезни Альцгеймера включает комплексную оценку, включающую изучение истории болезни, физикальное обследование, когнитивные тесты, лабораторные анализы (например, анализы крови), визуализацию головного мозга (например, МРТ или компьютерную томографию), а иногда и генетическое тестирование. Ранняя диагностика имеет решающее значение, поскольку она позволяет лучше контролировать симптомы и планировать уход в будущем.

МРТ позволяет получить подробные изображения анатомии мозга с помощью сильного магнитного поля и радиоволн. Эти изображения могут помочь идентифицировать определенные области мозга, на которые влияют состояния, связанные с деменцией, такие как болезнь Альцгеймера, сосудистая деменция или лобно-височная деменция.

Однако важно отметить, что данные МРТ сами по себе не могут поставить окончательный диагноз деменции. Клиническая оценка и другие тесты необходимы для подтверждения наличия состояния. Тем не менее, МРТ играет решающую роль в поддержке процесса диагностики и расширении нашего понимания деменции.

Цель данной статьи - изучить возможности алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции по данным МРТ. Машинное обучение, подмножество искусственного интеллекта, продемонстрировало большой потенциал в различных медицинских приложениях, включая диагностику заболеваний.

Алгоритмы машинного обучения в диагностике деменции

Одним из основных преимуществ использования алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции является их способность быстро анализировать большие объемы данных. Эти алгоритмы могут обрабатывать огромное количество информации о пациентах, включая медицинские записи, изображения, генетические данные и даже речевые паттерны. Анализируя эти данные, алгоритмы машинного обучения могут выявлять закономерности и корреляции, которые могут быть незаметны для врачей.

Однако важно отметить, что алгоритмы машинного обучения не предназначены для замены врачей, а скорее помогают им ставить более точные и своевременные диагнозы. Эти алгоритмы действуют как инструменты поддержки

принятия решений, предоставляя врачам дополнительные сведения и информацию, которые могут помочь в их диагностическом процессе.

В данной работе мы используем такие алгоритмы машинного обучения как: Decision tree classifier (Дерево решений), Random forest classifier (Метод случайного леса), Support vector machine (Метод опорных векторов), KNeighborsClassifier (Метод k-ближайших соседей).

Decision tree classifier (Дерево решений) - метод обучения, который объединяет несколько деревьев решений для прогнозирования и дает древовидную модель для многократного разделения данных на основе пороговых значений признаков. Разделение создает подмножества путем разделения экземпляров на подмножества. Промежуточные подмножества называются внутренними узлами, а листья называются листовыми узлами [4].

Random forest classifier (Метод случайного леса) - метод обучения, который объединяет несколько деревьев решений для прогнозирования. Каждое дерево в случайном лесу строится с использованием случайного подмножества обучающих данных и признаков. Для каждой выборки, взятой в обучающем наборе данных, формируется и затем обучается дерево решений с последующим поиском по сетке с использованием 10-кратной перекрестной проверки с различными комбинациями параметров [6].

Support vector machine (Метод опорных векторов) - это алгоритм бинарной классификации, который находит оптимальную гиперплоскость в многомерном пространстве для разделения различных классов. Чтобы разделить данные на разные классы, SVM создает наилучшую линию или границу решения, известную как гиперплоскость. Экстремальные точки или векторы, выбранные SVM для рисования гиперплоскости, называются опорными векторами [6].

KNeighborsClassifier (Метод k-ближайших соседей) - это простой, но эффективный алгоритм как для задач классификации, так и для задач регрессии. В KNN каждый экземпляр классифицируется на основе k его ближайших соседей в пространстве признаков. Метка класса или прогнозируемое значение экземпляра определяется большинством голосов или усреднением его k соседей.

Предварительная обработка набора данных для машинного обучения

MRT широко используемый метод медицинской визуализации, позволяющий получить подробные изображения внутренних структур человеческого тела. Благодаря достижениям в области машинного обучения данные MRT можно использовать для разработки мощных прогностических моделей для выявления заболеваний, планирования лечения и прогнозирования результатов лечения пациентов.

Данные, которые используются в данной работе, были созданы в рамках проекта Open Access Series of Imaging Studies (OASIS), которые можно использовать для различных моделей машинного обучения раннего выявления легкой и умеренной деменции. Набор данных состоит из 150 субъектов в возрасте от 60 до 96 лет, полученных с помощью одного и того же сканера с использованием идентичных последовательностей. Каждый субъект был просканирован во время двух или более посещений с промежутком не менее одного года, всего 373 сеанса визуализации.

Предварительная обработка данных является важным этапом в процессе анализа данных. Он включает в себя преобразование необработанных данных в понятный формат и подготовку их для дальнейшего анализа. Методы предварительной обработки данных включают очистку данных, нормализацию, преобразование и выбор признаков. Первым этапом предварительной обработки данных является обработка отсутствующих измерений. В ходе предварительной

обработки данных мы обнаружили, что в поле SES отсутствует 19 значений, а в поле MMSE - 2 значения (рис.1).

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Subject ID	373 non-null	object
1	MRI ID	373 non-null	object
2	Group	373 non-null	object
3	Visit	373 non-null	int64
4	MR Delay	373 non-null	int64
5	M/F	373 non-null	object
6	Hand	373 non-null	object
7	Age	373 non-null	int64
8	EDUC	373 non-null	int64
9	SES	354 non-null	float64
10	MMSE	371 non-null	float64
11	CDR	373 non-null	float64
12	eTIV	373 non-null	int64
13	nWBV	373 non-null	float64
14	ASF	373 non-null	float64

Рисунок 1. Информация о данных

Figure 1. Data Information

Эту проблему можно решить двумя способами. Простейшим решением будет удаление строк с пропущенными значениями. Второй способ заключается в заполнении пропущенных значений соответствующими данными.

В зависимости от размера и характера набора данных удаление этих столбцов с отсутствующими значениями для нашего набора данных не может привести к значительной потере информации. Потеря этих данных потенциально не может повлиять на точность и надежность последующего анализа, построенных с использованием измененного набора данных. Поэтому мы используем удаление строк с отсутствующими значениями. Таким образом, мы можем гарантировать, что оставшиеся данные (рис. 2) будут полными, и их можно будет использовать для дальнейшей работы.

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Group	373 non-null	int64
1	MR Delay	373 non-null	int64
2	M_F	373 non-null	int64
3	Age	373 non-null	int64
4	EDUC	373 non-null	int64
5	CDR	373 non-null	float64
6	eTIV	373 non-null	int64
7	nWBV	373 non-null	float64
8	ASF	373 non-null	float64

Рисунок 2. Информация о данных после предварительной обработки

Figure 2. Information about data after preprocessing

После предварительной обработки можно визуализировать данные. На данном этапе мы проводим исследовательский анализ данных Age, Educ, ASF, eTIV и nWBV (рис. 3-5).

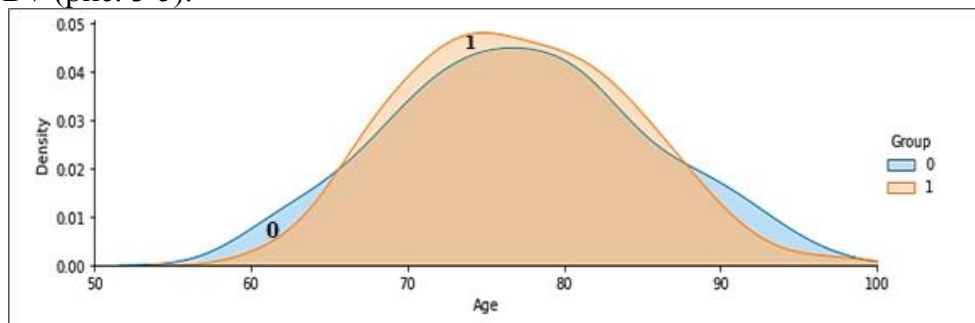


Рисунок 3. Визуализация данных в зависимости от возраста
Figure 3. Data visualization depending on age

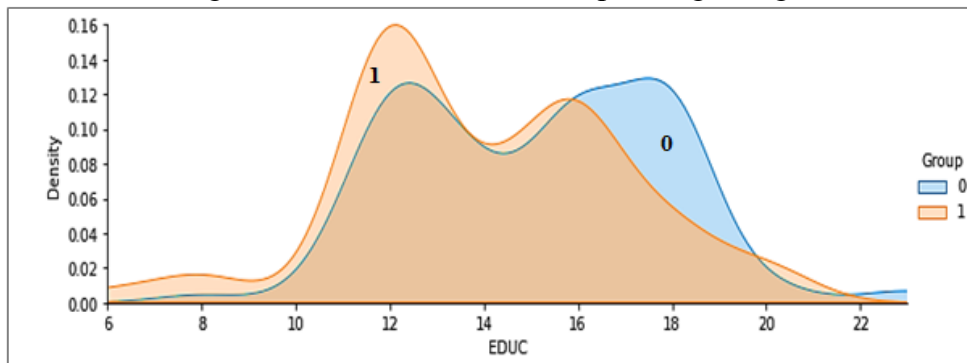


Рисунок 4. Визуализация данных по годам обучения
Figure 4. Data visualization by years of study

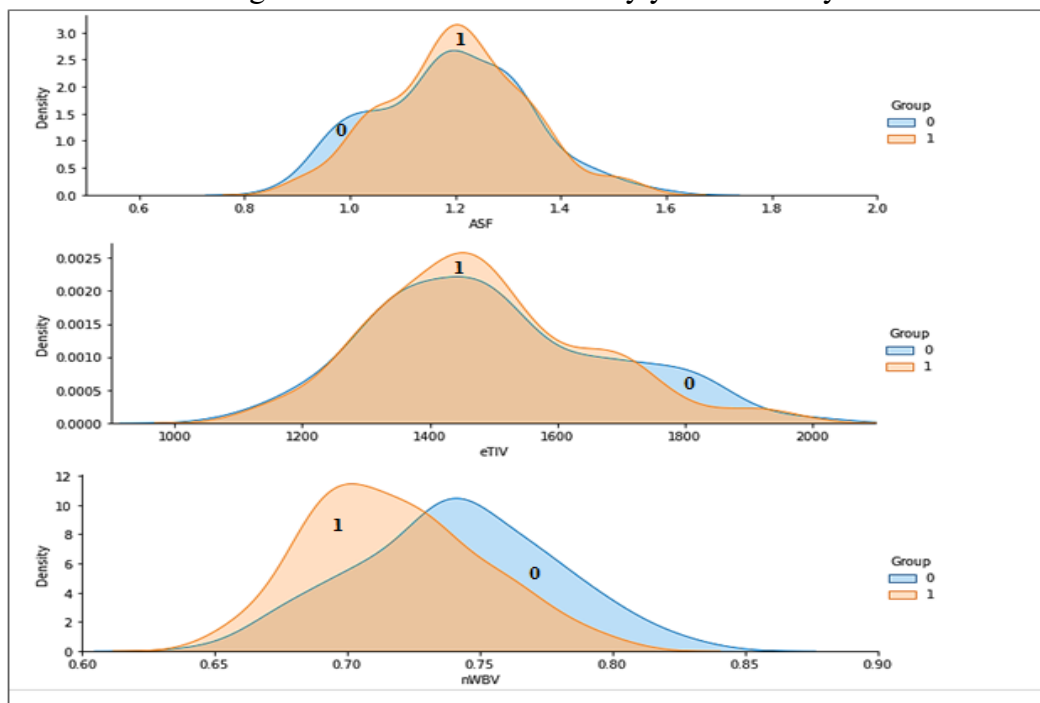


Рисунок 5. Визуализация данных ASF, eTIV и nWBV
Figure 5. Visualization of ASF, eTIV and nWBV data

Визуализация данных является важным аспектом машинного обучения, поскольку помогает понять и интерпретировать сложные закономерности и отношения в данных.

Опираясь на данные результаты исследования визуализации можно сделать следующие выводы:

1. Группе пациентов с более высокой деменцией наблюдается в возрасте 70-80 лет.
2. Пациенты с деменцией были меньше образованны с точки зрения количества лет обучения.
3. Группа без деменции имеет большой объем мозга, чем группа с деменцией.

После визуализаций набора данных, можно перейти к машинному обучению.

Обучение и проверка моделей машинного обучения

Машинное обучение стало неотъемлемой частью различных отраслей, от здравоохранения до финансов, и коренным образом меняет методы работы бизнеса. Однако создание точных и надежных моделей машинного обучения требует систематического подхода, включающего обучение и проверку моделей.

Обучение модели машинного обучения включает в себя передачу ей большого набора данных, который содержит как входные функции, так и соответствующие им выходные метки. Затем модель изучает закономерности и отношения в данных, чтобы делать прогнозы или классификации. Процесс обучения обычно включает алгоритм, который корректирует параметры модели, чтобы свести к минимуму ошибки между прогнозируемыми выходными данными и фактическими метками.

Чтобы гарантировать эффективность обученной модели, крайне важно проверить ее производительность. Проверка помогает оценить, насколько хорошо модель обобщает невидимые данные, и дает представление о ее точности и надежности.

Показатели производительности для каждой модели искусственного интеллекта - это метрики, которые используются для оценки эффективности и эффективности работы конкретной модели искусственного интеллекта.

Accuracy мера того, как часто модель делает правильные прогнозы. Он рассчитывается путем деления количества правильных прогнозов на общее количество сделанных прогнозов.

$$Accuracy (\%) = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} * 100$$

Sensitivity также известная как полнота или доля истинно положительных результатов, измеряет долю фактических положительных случаев, правильно идентифицированных моделью. Он рассчитывается путем деления количества истинных положительных результатов (правильно предсказанных положительных случаев) на сумму истинных положительных и ложных отрицательных результатов (неправильно предсказанных отрицательных случаев).

$$Sensitivity (\%) = \frac{TP}{TP + FN}$$

Precision измеряет долю предсказанных положительных случаев, которые на самом деле являются положительными. Он рассчитывается путем деления количества истинных срабатываний на сумму истинных срабатываний и ложных срабатываний (неверно предсказанных положительных случаев).

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

где, TP - Истинно положительный (True positive); TN - Истинный отрицательный (True negative); FP - Ложноположительный результат (False positive); FN - Ложноотрицательный (False negative)

Таблица 1. Показатели производительности для каждой модели

Table 1. Performance figures for each model

Модель	Точность
DecisionTreeClassifier()	0.919643
RandomForestClassifier()	0.946429
KNeighborsClassifier()	0.910714
svm.SVC()	0.678571

Как показано в (табл. 1), все алгоритмы показали хорошую точность, однако алгоритм RandomForestClassifier превосходит остальные. Поэтому дальше мы будем разрабатывать модель искусственного интеллекта именно с этим алгоритмом.

Как только модель искусственного интеллекта демонстрирует хорошую точность и надежность, можно интегрировать ее в клиническую практику, разработав удобное для пользователя программное обеспечение или приложения, которые могут обрабатывать новые данные МРТ и прогнозировать раннюю стадию болезни Альцгеймера.

Заключение

Результаты исследования показали перспективные возможности алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции на основе данных МРТ. Использование алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции имеет преимущество в обеспечении более объективной и последовательной оценки по сравнению с традиционными методами. Это может помочь уменьшить диагностические ошибки и повысить общую точность.

Возможности алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции на основе данных МРТ являются многообещающими возможностями в диагностике деменции на основе данных МРТ. Эти алгоритмы могут точно различать здоровых людей и людей с различными типами деменции. Однако необходимы дальнейшие исследования, чтобы подтвердить эти выводы и обеспечить их применимость в клинической практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамидова Д. Н. Компьютерное моделирование фрагментов амилоидных пептидов и их взаимодействие с дендримерами / Д. Н. Хамидова // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2017. – № 1. – С. 83-88.
2. Хамидова, Д. Н. Компьютерное моделирование амилоидных пептидов методом молекулярной динамики / Д.Н. Хамидова, Ф.С. Комилов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. – № 2. – С. 48-53.
3. Хамидова, Д. Н. Компьютерное моделирование взаимодействия лизинового дендримера и пептидов Эпиталон / Д.Н. Хамидова А.В. Попова, В.В. Безродный, С.Е. Михтанюк, Е.В. Попова, И.М. Неелов, Ф. Леермакерс // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 4. – С. 595-605. – DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-595-605.
4. Хамидова, Д. Н. Компьютерное моделирование взаимодействия лизиновых дендриграфтов с молекулами амилоидных пептидов / Д.Н. Хамидова, М.Ю. Ильяш, В.В. Безродный, Э.И. Фатуллаев, С.Е. Михтанюк, И.М. Неелов, Ф. // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2019. – № 50 (76). – С. 85-91.
5. Хамидова Д.Н. Компьютерное моделирование методом молекулярной динамики амилоидных фибрилл и их разрушение дендримерами и дендриграфтами. Диссертация - ТНУ, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnu.tj/index.php/ru/hamidova-dilorom-nasrulloevna>. Яз. рус. (дата обращения 09.07.2023).
6. Хамидова Д.Н., Джуразода М.А. Обучение с подкреплением для управления роботами: подход к машинному обучению // XX Международная научно-техническая конференция Новые технологии в учебном процессе и производстве. - Рязань. - Ряз. ин-т (филиал) Моск. пол. ун-та. – 2023. - С. 684-687.
7. Gopi Battineni, Mohmmad Amran Hossain, Nalini Chintalapudi, Enea Traini, Venkata Rao Dhulipalla, Mariappan Ramasamy, Francesco Amenta Improved Alzheimer's Disease Detection by MRI Using Multimodal Machine Learning Algorithms // Diagnostics (Basel). 2021 Nov. 11(11): 2103. Published online 2021 Nov. 13. doi: 10.3390/diagnostics11112103

8. Ilyash, M.Yu. Computer simulation of lysine dendrimers and their interactions with amyloid peptides / M.Yu Ilyash., D.N. Khamidova, B.M. Okrugin, I.M. Neelov // WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine. – 2015. – T. 12. –Pp.79-86.
9. Kavitha C. Early-Stage Alzheimer's Disease Prediction Using Machine Learning Models [Electronic resource]-Front Public Health. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.853294/full> (дата обращения 10.07.2023).
10. Khamidova, D. N. Interaction of dendrigraft of second generation with molecules of LVFFAE peptide. / D. N. Khamidova, E.I. Fatullaev, S.E. Mikhtaniuk, I.M. Neelov // Magnetic Resonance and its Applications Processing. – 2019. –Pp.185-187.
11. Khamidova, D.N. Molecular dynamics simulation of complexes of lysine dendrimer and dendrigraft with AENG tetrapeptide / D.N. Khamidova, V.V. Bezrodny, A.V. Popova, S.E. Mikhtaniuk, I.M. Neelov, E.V. Popova // International journal of biology and biomedical engineering. – 2018. –Pp.45-58.
12. Marcus DS, Fotenos AF, Csernansky JG, Morris JC, Buckner RL. Open Access Series of Imaging Studies (OASIS): Longitudinal MRI Data in Nondemented and Demented Older Adults // Journal of cognitive neuroscience. 2010. 22(12). –Pp.2677-2684. doi:10.1162/jocn.2009.21407
13. Marcus, DS, Wang, TH, Parker, J, Csernansky, JG, Morris, JC, Buckner, RL. Open Access Series of Imaging Studies (OASIS): Cross-Sectional MRI Data in Young, Middle Aged, Nondemented, and Demented Older Adults//Journal of Cognitive Neuroscience, 19. –Pp.1498-1507. doi:10.1162/jocn.2007.19.9.1498
14. Neelov, I. Complexes and conjugates of lysine dendrimer with therapeutic tetrapeptides. Molecular dynamics simulation / I. Neelov, E. Popova, D. Khamidova // AIP Conference Proceedings 2. Series Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering II. – 2018. – Pp. 20-28.
15. Neelov, I. Computer simulation of interaction of lysine dendrimer with stack of amyloid peptides/ I. Neelov, D. Khamidova, E. Popova, F. Komilov // Proceedings – 2017 4th International conference on mathematics and computer science and in industry, MCSI 2017. – 2018. – Pp. 183-188.
16. Neelov, I. Interaction of lysine dendrimers of 2nd and 3rd generation with stack of amyloid peptides. Molecular dynamics simulation / I. Neelov, E. Popova, D. Khamidova, F. Komilov // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. – 2017. – V. 11. – Pp.95-100.
17. Neelov, I. Interaction of lysine dendrimers with therapeutic peptides. Molecular dynamics simulation / I. Neelov, E. Popova, D. Khamidova, I. Tarasenko // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. – 2017. – V. 11. – Pp.194-203.
18. Neelov, I. M. Computer simulation of lysine dendrimers and their interactions with amyloid peptides / I.M. Neelov, M.Y. Ilyash, D.N. Khamidova, B.M. Okrugin // WSEAS Transaction on Biology and Biomedicine. – 2015. – V. 12. – Pp. 79-86.
19. Neelov, I. Molecular Dynamics Simulation of Interaction of Lysine Dendrigraft of 2nd Generation with Stack of Amyloid Peptides / I. Neelov, D. Khamidova, V. Bezrodny, S. Mikhtaniuk // International journal of biology and biomedical engineering. – 2019. – Pp. 26-31.
20. Sivakani GA, Ansari R. Machine learning framework for implementing Alzheimer's disease// Int Conferen Commun Signal Process. (2020) 12:588–92. 10.1109/ICCSP48568.2020.9182220
21. Zhang Y, Dong Z, Phillips P, et al. Detection of subjects and brain regions related to Alzheimer's disease using 3D MRI scans based on eigenbrain and machine learning // Frontiers in Computational Neuroscience. 2015;9:66. doi:10.3389/fncom.2015.00066.

REFERENS

1. Khamidova D. N. Computer modeling of fragments of amyloid peptides and their interaction with dendrimers / D. N. Khamidova // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. – 2017. – No. 1. – Pp. 83-88.
2. Khamidova, D.N. Computer modeling of amyloid peptides using the molecular dynamics method / D.N. Khamidova, F.S. Komilov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. – 2018. – No. 2. – Pp. 48-53.
3. Khamidova, D.N. Computer modeling of the interaction of lysine dendrimer and Epitalon peptides / D.N. Khamidova A.V. Popova, V.V. Bezrodny, S.E. Mikhtanyuk, E.V. Popova, I.M. Neelov, F. Leermakers // Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. – 2018. – T. 18. – No. 4. – Pp. 595-605. – DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-595-605.
4. Khamidova, D.N. Computer modeling of the interaction of lysine dendrigrafts with amyloid peptide molecules / D.N. Khamidova, M.Yu. Ilyash, V.V. Bezrodny, E.I. Fatullaev, S.E. Mikhtanyuk, I.M. Neelov, F. // News of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). – 2019. – No. 50 (76). – Pp. 85-91.
5. Khamidova D.N. Computer simulation of amyloid fibrils using the molecular dynamics method and their destruction by dendrimers and dendrigrafts. Dissertation - TNU, 2020 [Electronic

resource]. – Access mode: <https://tnu.tj/index.php/ru/hamidova-dilorom-nasrulloevna>. Language rus. (access date 07/09/2023).

6. Khamidova D.N., Jurazoda M.A. Reinforcement learning for robot control: an approach to machine learning // XX International Scientific and Technical Conference New technologies in the educational process and production. - Ryazan. - Ryaz. Institute (branch) Moscow. floor. un-ta. – 2023. – Pp. 684-687.

7. Gopi Battineni, Mohmmad Amran Hossain, Nalini Chintalapudi, Enea Traini, Venkata Rao Dhulipalla, Mariappan Ramasamy, Francesco Amenta Improved Alzheimer's Disease Detection by MRI Using Multimodal Machine Learning Algorithms // Diagnostics (Basel). 2021 Nov. 11(11): 2103. Published online 2021 Nov. 13. doi: 10.3390/diagnostics11112103

8. Ilyash, M.Yu. Computer simulation of lysine dendrimers and their interactions with amyloid peptides / M.Yu Ilyash., D.N. Khamidova, B.M. Okrugin, I.M. Neelov // WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine. – 2015. – T. 12. – Pp.79-86.

9. Kavitha C. Early-Stage Alzheimer's Disease Prediction Using Machine Learning Models [Electronic resource]-Front Public Health. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.853294/full> (accessed 07/10/2023).

10. Khamidova, D. N. Interaction of dendrigraft of second generation with molecules of LVFFAE peptide. / D. N. Khamidova, E.I. Fatullaev, S.E. Mikhtaniuk, I.M. Neelov // Magnetic Resonance and its Applications Processing. – 2019. –Pp.185-187.

11. Khamidova, D.N. Molecular dynamics simulation of complexes of lysine dendrimer and dendrigraft with AENG tetrapeptide / D.N. Khamidova, V.V. Bezrodnyi, A.V. Popova, S.E. Mikhtaniuk, I.M. Neelov, E.V. Popova // International journal of biology and biomedical engineering. – 2018. –Pp.45-58.

12. Marcus DS, Fotenos AF, Csernansky JG, Morris JC, Buckner RL. Open Access Series of Imaging Studies (OASIS): Longitudinal MRI Data in Nondemented and Demented Older Adults // Journal of cognitive neuroscience. 2010. 22(12). –Pp.2677-2684. doi:10.1162/jocn.2009.21407

13. Marcus, DS, Wang, TH, Parker, J, Csernansky, JG, Morris, JC, Buckner, RL. Open Access Series of Imaging Studies (OASIS): Cross-Sectional MRI Data in Young, Middle Aged, Nondemented, and Demented Older Adults//Journal of Cognitive Neuroscience. 19. –Pp.1498-1507. doi:10.1162/jocn.2007.19.9.1498

14. Neelov, I. Complexes and conjugates of lysine dendrimer with therapeutic tetrapeptides. Molecular dynamics simulation / I. Neelov, E. Popova, D. Khamidova // AIP Conference Proceedings 2. Series Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering II. – 2018. – Pp. 20-28.

15. Neelov, I. Computer simulation of interaction of lysine dendrimer with stack of amyloid peptides/ I. Neelov, D. Khamidova, E. Popova, F. Komilov // Proceedings – 2017 4th International conference on mathematics and computer science and in industry, MCSI 2017. – 2018. – Pp. 183-188.

16. Neelov, I. Interaction of lysine dendrimers of 2nd and 3rd generation with stack of amyloid peptides. Molecular dynamics simulation / I. Neelov, E. Popova, D. Khamidova, F. Komilov // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. – 2017. – V. 11. – Pp.95-100.

17. Neelov, I. Interaction of lysine dendrimers with therapeutic peptides. Molecular dynamics simulation / I. Neelov, E. Popova, D. Khamidova, I. Tarasenko // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. – 2017. – V. 11. – Pp.194-203.

18. Neelov, I. M. Computer simulation of lysine dendrimers and their interactions with amyloid peptides / I. M. Neelov, M.Y. Ilyash, D.N. Khamidova, B.M. Okrugin // WSEAS Transaction on Biology and Biomedicine. – 2015. – V. 12. – Pp.79-86.

19. Neelov, I. Molecular Dynamics Simulation of Interaction of Lysine Dendrigraft of 2nd Generation with Stack of Amyloid Peptides / I. Neelov, D. Khamidova, V. Bezrodnyi, S. Mikhtaniuk // International journal of biology and biomedical engineering. – 2019. – Pp. 26-31.

20. Sivakani GA, Ansari R. Machine learning framework for implementing Alzheimer's disease // Int Conferen Commun Signal Process. (2020) 12:588–92. 10.1109/ICCSP48568.2020.9182220

21. Zhang Y, Dong Z, Phillips P, et al. Detection of subjects and brain regions related to Alzheimer's disease using 3D MRI scans based on eigenbrain and machine learning // Frontiers in Computational Neuroscience. 2015; 9:66. doi:10.3389/fncom.2015.00066.

ИМКОНИЯТҶОИ АЛГОРИТМҶОИ ОМУЗИШИ МОШИНИ ДАР ТАШХИСИ ДЕМЕНСИЯ ДАР АСОСИ МАЪЛУМОТИ ТМР

Дар мақола дар асоси маълумоти ТМР имкониятҳои алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ барои ташхиси бемориҳои деменсия мавриди омӯзиш ва таҳқиқ қарор дода шудааст. Деменсия бемориҳои мураккаби нейродегенеративӣ мебошанд, ки дар саросари ҷаҳон миллионҳо одамон гирифтори онҳо мебошанд. Усулҳои маъмули ташхиси деменсия ба арзёбиҳои клиникӣ ва санҷишҳои когнитивӣ асос ёфтаанд, ки онҳо субъективӣ буда, вақти зиёдро талаб мекунанд. Ташхиси саривақтии деменсия барои табobati босамари он бисёр муҳим маънидод мешавад. Аммо усулҳои

арзёбии клиникӣ ва санҷишҳои нейропсихологӣ аз нуқтаи назари дақиқӣ ва объективият бисёр маҳдуд мебошанд. Алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ тавассути таҳлили маълумоти ТМР роҳҳои умедбахши баланд бардоштани дақиқӣ ва самаранокии таҳлили деменсияро пешниҳод мекунанд. Дар мақола алгоритмҳои гуногуни омӯзиши мошинӣ, аз қабили Decision tree classifier (Усули дарахти қарорҳо), Random forest classifier (Усули ҷангали тасодуфӣ), Support vector machine (Мошини векторҳои таҷағоҳӣ), KNeighborsClassifier (Усули k-ҳамсоия наздиктарин) ва тарзи истифодаи онҳо дар таҳлили деменсия баррасӣ шудаанд.

Калидвожаҳо: деменсия, бемории Алтсгеймер, омӯзиши мошинӣ, маҷмуи маълумот, алгоритм, амсила, арзёбӣ, дақиқӣ.

ВОЗМОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ДЕМЕНЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МРТ

В данной статье исследуются возможности алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции на основе данных МРТ. Деменция сложное нейродегенеративное заболевание, от которого страдают миллионы людей во всем мире. Традиционные методы диагностики деменции основаны на клинических оценках и когнитивных тестах, которые могут быть субъективными и требовать много времени. Раннее выявление имеет решающее значение для эффективного лечения. Однако традиционные методы диагностики, такие как клиническая оценка и нейропсихологические тесты, имеют ограничения с точки зрения точности и объективности. Алгоритмы машинного обучения предлагают многообещающий подход к повышению точности и эффективности диагностики деменции путем анализа данных МРТ. В статье обсуждаются различные алгоритмы машинного обучения, такие как Decision tree classifier (Деревья решений), Random forest classifier (Метод случайного леса), Support vector machine (Метод опорных векторов), KNeighborsClassifier (Метод k-ближайших соседей), а также их применение в диагностике деменции.

Ключевые слова: деменция, болезнь Альцгеймера, машинное обучение, набор данных, алгоритм, модель, оценка, точность.

POSSIBILITIES OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN THE DIAGNOSIS OF DEMENTIA BASED ON MRI DATA

This article explores the capabilities of machine learning algorithms in the diagnosis of dementia based on MRI data. Dementia is a complex neurodegenerative disease that affects millions of people worldwide. Traditional methods for diagnosing dementia are based on clinical assessments and cognitive tests, which can be subjective and time-consuming. Early detection is critical for effective treatment. However, traditional diagnostic methods such as clinical evaluation and neuropsychological tests have limitations in terms of accuracy and objectivity. Machine learning algorithms offer a promising approach to improve the accuracy and efficiency of dementia diagnosis by analyzing MRI data. This article discusses various machine learning algorithms such as Decision tree classifier, Random forest classifier, Support vector machine, KNeighborsClassifier, and their application in dementia diagnosis.

Key words: dementia, Alzheimer's disease, machine learning, dataset, algorithm, model, estimation, accuracy.

Маълумот дар бораи муаллиф: Хамидова Дилором Насруллоевна - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, докторанти фалсафа (Ph.D) аз рӯи ихтисоси амсиласозии математикӣ ва компютерӣ, дотсенти кафедраи информатика. Суроға 734025, ш.Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рудаки, 17. **E-mail:** deya757@mail.ru

Сведения об авторе: Хамидова Дилором Насруллоевна – Таджикский национальный университет, доктор философских наук (Ph.D) по специальности математическое и компьютерное моделирование, доцент кафедры информатики. Адрес: 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, пр. Рудаки, 17. **E-mail:** deya757@mail.ru

Information about the author: Hamidova Dilorom Nasrulloevna-Tajik national university, doctor of philosophy (Ph.D) on the specialty of mathematical and computer modeling, associate professor of the department of of Computer Science. Address: 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Ave. 17. **E-mail:** deya757@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОЕ ЯВЛЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЕ.**

Джураева Г.Х.

Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни

1. Введение. Тепловые процессы распространены в различных цилиндрической конденсированной средах, в частном случае производствах: металлов, термическая их обработка, машиностроение, нефтепереработка, химическая, пищевая промышленность, производство строительных материалов. В любом хозяйстве промышленность или науки и техники обязательно есть множество теплообменных аппаратов. Например, на машиностроительных заводах тепловая энергия применяется для обеспечения целого ряда технологических процессов: нагрев воды в ваннах, сушка форм в сушилах. Кроме того, теплообменные аппараты часто являются вспомогательными устройствами в котельных, компрессорных станциях. На машиностроительных заводах есть бойлерные установки, в которых приготавливается горячая вода для производственных и бытовых нужд. На выходе из термических или нагревательных печей устанавливаются рекуперативные теплообменники для нагрева дутьевого воздуха отходящими дымовыми газами. На предприятиях химической промышленности также много теплового оборудования: реакторы, выпарные и ректификационные установки, испарители. На предприятиях пищевой промышленности много варочных аппаратов, холодильных установок, вакуумных и сушильных установок. В производстве стройматериалов используются сушильные установки, барабанные сушилки для сушки песка, гравия, холодильные установки. Теплообменный аппарат – устройство для передачи тепла от одной среды к другой или от одной к нескольким, или от нескольких к одной. Все эти процессы инженерно-технические объекты, которые постоянно находятся под непосредственным воздействием климатических факторов, одним из которых являются термодинамические условия. В связи с этим процессы теплообмена и массообменная приобретают все большее значение.

Как известно [1-6], любая конденсированная среда служит материальной структурной конструкции; по своему физико-химическому составу они образуют набор взаимосвязанных и взаимозависимых фаз. В них по отдельности и совместно протекают различные процессы, энергия и направление которых зависят от термодинамических условий окружающей среды. При циклических изменениях температуры воздуха изменяется температура слоев конденсированного вещества. Это приводит к циклическим изменениям содержания влаги, структуры и стабильности конденсированной среды. Надежность и экономичность перспективных энергетических объектов во многом, а иногда и в значительной степени, зависит от того, насколько грамотно организована система конструкционных энергетических материалов, что в конечном итоге определяет надежность инженерно-технических методов расчета теплопередачи. Для правильного и обоснованного проектирования мероприятий, направленных на регулирование тепловых процессов в различных задачах с целью исключения их влияния на долговечность, надежность и экономичность конструкционных материалов в естественных условиях и при использовании различных теплоизоляционных материалов. В этом случае расчетные модели также используются для определения толщины теплоизоляционных устройств и облицовочных конструкций. Процесс теплопередачи и массообменная цилиндрической конденсированной среды носит пространственный характер, для получения полной картины необходимо исходить из решения задачи пространственной термодинамики. Разработан ряд математических моделей и

методов их применения для инженерных расчетов традиционных задач. Однако с развитием технологического уклада, который постоянно ставит новые и разнообразные задачи перед специалистами в этой области и требует их изучения, был задан приближенный метод рассмотрения одномерного теплового потока, основанный на определении температурного слоя.

В общем случае, когда математическое моделирование имеет тип сингулярно-возмущенных дифференциальных уравнений второго порядка, то количество особых точек изменится и фазовую плоскость можно разделить на области с различным поведением стабильных и нестабильных решений системы уравнений. Для задачи о тепловом потоке и температуре, рассмотренной [7-9], это происходит, когда небольшой параметр, описывающий поведение температуры и теплового потока (нелинейная функция переменных координат), изменит свою структуру по сравнению с некоторыми параметрами, включенными в уравнение или систему уравнений.

Во многих физических задачах представляет интерес модельное исследование стационарных (установившихся) решений [6, 7, 10-14]. В этом случае сингулярные возмущенные обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка, то есть стационарные уравнения теплопроводности с одной пространственной переменной, превращаются в краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с неизвестными функциями температуры и теплового потока (см. [10-15]). Поскольку краевая задача порождается преобразованием стационарного уравнения теплопроводности, то важным аспектом ее изучения является анализ и оценка поведения решений краевой задачи в виде некоторых фазовых структур.

Метод модельного представления аналитического решения для анализа задачи можно рассматривать как разновидность геометрической форм (графики), которая используется на таких этапах технологии вычислительного эксперимента, как построение модели и ее верификация [15-20]. Данная работа посвящена развитию этих методов, его применению к модельному представлению, изучаются задачи стационарных процессов теплообмена в цилиндрических конденсированных средах. Численно определено возмущенного и невозмущенного близости решения при действии начального приближения с допустимой точностью.

2. Высказывание вопроса. В работах [6-8] исследуются процесс диффузионно-реактивного переноса в среде с объемным и плоским источником тепла и коэффициентом теплопроводности, зависящим от малого параметра. Распределение температуры $T(r, \varepsilon)$ в рамках задач модельное представление стационарного теплообмена в цилиндрической среде осуществляется с помощью следующей уравнения:

$$\varepsilon^2 \frac{d^2 T(r, \varepsilon)}{dr^2} + \frac{2\varepsilon^2}{r} \cdot \frac{dT(r, \varepsilon)}{dr} - g(r) T(r, \varepsilon) = f(r), \quad (1)$$

где ε -малый параметр; r -радиус цилиндр; функции $g(r)$ и $f(r)$ заданы, множитель и источник тепло соответственно, и по крайней мере, непрерывны на отрезке $[0, a]$, причем $g(r) \geq 0$.

Предположим, что $g(r)$, $f(r)$ функции известны, мы рассмотрим нахождение решения уравнения (1) в соответствии с выполнением граничных условий:

$$\left(\gamma_1 \frac{dT(r, \varepsilon)}{dr} + \gamma_2 T(r, \varepsilon) \right) \Big|_{\Gamma} = \begin{cases} |T(0, \varepsilon)| < \infty & \text{при } r=0, \\ \psi & \text{при } r=a. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь γ_1 , γ_2 - числа, а ψ - заданное число.

Чтобы уточнить решение, полученное на основе модели, для уточнения ошибок этого решения используется разновидность метода возмущений, и им посвящена обширная литература [21-24]. Эффективный выбор модели для неповрежденного и возмущенного решения должен осуществлять во многих ситуациях, даже при действии начального приближения, чтобы получить решение с удовлетворительной погрешностью при относительно незначительных затратах на исследования.

Пусть мы заинтересованными в возмущения, описываемые математическим моделям как выражения вида (1), при заданных граничных условиях (2). Если мы поместим $\varepsilon = 0$, то есть отбросим возмущение в формулу (1), то в этом случае мы имеем:

$$g(r)v(r) + f(r) = 0. \quad (3)$$

В этом случае, могут быть произвольно известно предельной условий (2) не отвечать уравнению (3) в границах $r=0$ или $r=a$ среду. Если невозмущенная формула (3) в границах $r=0$ или $r=a$ не удовлетворяет реализации условия (2), то в этом случае возможность силы инерции в данный момент времени отличается от нуля, то есть на так называемой стадии релаксации движения, первый член в уравнении (1) нельзя пренебрегать.

Это означает, что любое дифференциальное уравнение является приближительным, не полностью адекватным процессу, который оно описывает. Поэтому некоторые факторы, влияние которых на исследуемый процесс предполагается "малым", сводятся к изучению зависимости решений дифференциальных уравнений от малых параметров. При математической постановке прикладных задач возникает вопрос о поведении решений задачи (1)-(2) при значениях коэффициентов, характеризующих "малыми" параметрами. Решения задачи с малым параметром из-за ее прикладной важности (применение теории этих уравнений в гидродинамике, нелинейной механике, химической и биологической кинетике, экологии, теории оболочек и многих других областях), стало одним из основных направлений в области дифференциальных уравнений и математической физики (см. [6, 7, 15, 22-25]).

В [7-9, 25] рассматривается задача нахождения приближенных решений краевой задачи для дифференциальных уравнений с малым параметром при более высоких производных, которые близки к решению краевой задачи для побочного (невозмущенного) уравнения. В связи с этим представляет интерес найти приближенное решение задачи (1)-(2), которое близко к решению задачи (3)-(4).

3. Модельное представление стационарного явления теплообмена в цилиндрической конденсированной среде. Прежде всего, отметим, что в большинстве случаев удастся составить хорошую математическую модель, содержащую всего лишь два или три уравнения первого порядка. В наших изложениях, согласно [7, 25], изменения температуры и плотности теплового потока по радиусные координаты оси описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dT(r, \varepsilon)}{dr} = q(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T(r, \varepsilon), \\ \varepsilon^2 \frac{dq(r, \varepsilon)}{dr} = f(r) - \mathcal{G}_2 q(r, \varepsilon), \end{cases} \quad (4)$$

где $T(r, \varepsilon)$ - температура в радиусе r ; $q(r, \varepsilon)$ - плотность теплового потока в радиусе r ; λ - коэффициент теплопроводности; $\mathcal{G}_1 = \frac{1}{r} \left(1 - \sqrt{\varepsilon^2 + r^2 g(r)} \right)$ и $\mathcal{G}_2 = \frac{\varepsilon^2}{r} \left(1 + \sqrt{\varepsilon^2 + r^2 g(r)} \right)$ - число компонентов, характеризующих коэффициенты уравнения (1).

Как известно из [7-9, 25] в окрестности точки равновесия, то есть особой точки $(q(r, \varepsilon), T(r, \varepsilon))$, происходят фазовые превращения, либо в среде происходит явление, либо не происходит. Возникает необходимость в управлении процессом явления конденсированной среды в окрестности данной точки.

В связи с этим рассмотрим процесс распространения тепла в положительном направлении системы координат $(q(r, \varepsilon), T(r, \varepsilon))$. В таком случае, граничные условия (2) для температуры и плотности теплового потока можно записать в виде:

$$\begin{aligned} T(r, \varepsilon) \Big|_{r=0} &= T(0, \varepsilon), & q(r, \varepsilon) \Big|_{r=0} &= q(0, \varepsilon); \\ T(r, \varepsilon) \Big|_{r=a} &= \psi, & q(r, \varepsilon) \Big|_{r=a} &= \psi. \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения зависимости теплового потока $q(r, \varepsilon)$ от температуры $T(r, \varepsilon)$ конденсированных средах разделим второе уравнение системы (1) на первое. В результате получим:

$$\varepsilon^2 \frac{dq(r, \varepsilon)}{dT(r, \varepsilon)} = \frac{f(r) - \mathcal{G}_2 q(r, \varepsilon)}{q(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T(r, \varepsilon)}. \quad (6)$$

Для упрощения дальнейших расчетов обозначим:

$$A(T) = \frac{f(r) - \mathcal{G}_2 q(r, \varepsilon)}{\varepsilon^2 (q(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T(r, \varepsilon))}. \quad (7)$$

Тогда уравнение (6) принимает вид:

$$\frac{dq(r, \varepsilon)}{dT(r, \varepsilon)} = A(T). \quad (8)$$

Решение уравнение (8) имеет следующий вид:

$$q(r, \varepsilon) = \frac{A(T) \varepsilon^2 \mathcal{G}_1}{A(T) \varepsilon^2 + \mathcal{G}_2} T(r, \varepsilon) + \frac{f(r)}{A(T) \varepsilon^2 + \mathcal{G}_2}. \quad (9)$$

Как видно из выражения (9) зависимость $q(T)$ имеет сложный характер: а) согласно первому слагаемому по мере возрастания температуры, плотность потока тепла линейно растет; б) согласно второму слагаемому с увеличением температуры плотность потока тепла линейно уменьшается. Поэтому для уточнения характера зависимости $q(T)$ проведем вычислительные эксперимент на основе выражения (9).

Особый интерес представляют определения координаты стационарной точки, то есть главные изоклины $\frac{dq(r, \varepsilon)}{dT(r, \varepsilon)} = 0$ -горизонтальный изоклины и

$\frac{dq(r, \varepsilon)}{dT(r, \varepsilon)} = \infty$ -вертикальный изоклины. Согласно (7) уравнение горизонтальных

изоклин ($A(T)=0$) имеет вид:

$$f(r) - \mathcal{G}_2 q(r, \varepsilon) = 0, \quad (10)$$

а уравнение вертикальных изоклин ($A(T)=\infty$)

$$q(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T(r, \varepsilon) = 0. \quad (11)$$

В точке, где одновременно обращаются в нуль и числитель, и знаменатель (7), или в точке пересечения главных изоклин (10) и (11), направление касательной становится неопределенным. Так как при этом становятся неопределенным значение производной

$$\frac{dq(r, \varepsilon)}{dT(r, \varepsilon)} = \frac{f(r) - \mathcal{G}_2 q^*(r, \varepsilon)}{\varepsilon^2 (q^*(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T^*(r, \varepsilon))}. \quad (12)$$

Точка пересечения главных изоклин, или особая точка, обладает тем важнейшим свойством, что в ней одновременно обращаются в нуль производные от теплового потока $q(r, \varepsilon)$ и от температуры $T(r, \varepsilon)$ по r :

$$\frac{dq(r, \varepsilon)}{dr} = 0, \quad \frac{dT(r, \varepsilon)}{dr} = 0. \quad (13)$$

Очевидно, особая точка $M(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$ соответствует стационарному состоянию в системе, а ее координаты $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$ суть стационарные значения переменных $q(r, \varepsilon)$ и $T(r, \varepsilon)$. Следует подчеркнуть, что система может, конечно, обладать и несколькими стационарными состояниями, поскольку главные изоклины могут пересекаться в нескольких точках.

Посмотрим теперь, каким образом можно определить характер устойчивости особых точек на фазовой плоскости по свойствам правых частей уравнений (4).

Будем исходить из тех же представлений о свойствах устойчивых состояний, что и в [14, 15] при изучении устойчивости стационарных точек в случае уравнения с одним переменным. Пусть $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$ –координаты особой точки системы (4) на фазовой плоскости, и пусть наша система претерпевает небольшое отклонение от стационарного положения. Величина этого смещения от точки $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$ задается следующим образом:

$$T(r, \varepsilon) - T^*(r, \varepsilon) = \mu_1; \quad q(r, \varepsilon) - q^*(r, \varepsilon) = \mu_2. \quad (14)$$

где $\|\mu_1\| \ll \|T^*\|$, $\|\mu_2\| \ll \|q^*\|$.

Подставляя (14) в уравнения (4) и, пользуясь малостью величин μ_1 , μ_2 , разложим функции $\Theta_1(T, q) = \varepsilon^2 (q(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T(r, \varepsilon))$ и $\Theta_2(T, q) = f(r) - \mathcal{G}_2 q(r, \varepsilon)$ в ряд Тейлора вблизи стационарной точки $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$, ограничиваясь первыми членами разложения:

$$\begin{aligned} \Theta_1(T, q) = \varepsilon^2 \left(q^*(r, \varepsilon) - \mathcal{G}_1 T^*(r, \varepsilon) \right) + \mu_1 \cdot \left(\frac{\partial \Theta_1}{\partial T} \right)_{T=T^*, q=q^*} + \\ + \mu_2 \cdot \left(\frac{\partial \Theta_1}{\partial q} \right)_{T=T^*, q=q^*} + \dots, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Theta_2(T, q) = f(r) - \mathcal{G}_2 q^*(r, \varepsilon) + \mu_1 \cdot \left(\frac{\partial \Theta_2}{\partial T} \right)_{T=T^*, q=q^*} + \\ + \mu_2 \cdot \left(\frac{\partial \Theta_2}{\partial q} \right)_{T=T^*, q=q^*} + \dots. \end{aligned} \quad (16)$$

Обозначая значения частных производных в точке $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial \Theta_1}{\partial T} \right|_{T=T^*, q=q^*} = \varepsilon^2 \mathcal{G}_1; \quad \left. \frac{\partial \Theta_1}{\partial q} \right|_{T=T^*, q=q^*} = \varepsilon^2; \\ \left. \frac{\partial \Theta_2}{\partial T} \right|_{T=T^*, q=q^*} = 0; \quad \left. \frac{\partial \Theta_2}{\partial q} \right|_{T=T^*, q=q^*} = \mathcal{G}_2; \end{aligned}$$

и используя выражения (15) и (16), перепишем ряд Тейлора в виде:

$$\begin{aligned} \Theta_1(T, q) = \varepsilon^2 \mathcal{G}_1 \mu_1 + \varepsilon^2 \mu_2, \\ \Theta_2(T, q) = \mathcal{G}_2 \mu_2. \end{aligned} \quad (17)$$

Подставляя (15), (16) и (17) в исходные уравнения (4), получим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{d\mu_1}{dx} = \varepsilon^2 \mathcal{G}_1 \mu_1 + \varepsilon^2 \mu_2, \\ \frac{d\mu_2}{dx} = 0 \cdot \mu_1 + \mathcal{G}_2 \mu_2. \end{cases} \quad (18)$$

Следовательно, уравнения (18) описывают характер изменения величин μ_1 , μ_2 от координаты x или поведение исходной системы (4) вблизи особой точки $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$.

Для определения характера устойчивости особой точки необходимо выяснить, как ведет себя величины μ_1 , μ_2 в зависимости от значений параметров $\varepsilon^2 \lambda \mathcal{G}_1$, $\varepsilon^2 \mathcal{G}_2$, $\lambda \mathcal{G}_2$ в правых частях уравнения (4). Для решения системы (18) применяем процедуры нахождения собственных значений с применением матричного метода (см. [9,17]). Будем искать решение в виде:

$$\mu_1 = C \exp(\omega x), \quad \mu_2 = D \exp(\omega x). \quad (19)$$

где C, D – величины первоначальных отклонений μ_1 , μ_2 при $x=0$.

Подставляя выражения (19) в (18) и сокращая полученные выражения на множитель $\exp(\omega x)$, получим систему алгебраических уравнений относительно неизвестных C, D :

$$\begin{cases} \omega C = \varepsilon^2 \mathcal{G}_1 C + \varepsilon^2 D, \\ \omega D = \mathcal{G}_2 D. \end{cases} \quad (20)$$

Далее запишем систему (20) в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon^2 \mathcal{G}_1 - \omega & \varepsilon^2 \\ 0 & \mathcal{G}_2 - \omega \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C \\ D \end{pmatrix} = 0. \quad (21)$$

Если ввести вектор-столбец

$$\delta_k = \begin{pmatrix} C_k \\ D_k \end{pmatrix}, \text{ где } -\infty < k < \infty$$

и матрицу коэффициентов

$$F = \begin{pmatrix} \varepsilon^2 \mathcal{G}_1 - \omega & \varepsilon^2 \\ 0 & \mathcal{G}_2 - \omega \end{pmatrix},$$

тогда (21) можно записать в виде

$$\delta_k = F \cdot \delta_{k-1} = F^2 \cdot \delta_{k-2} = \dots = F^k \cdot \delta_0. \quad (22)$$

Положим, что ω_1, ω_2 есть характеристические числа матрицы системы (21), то есть корни характеристического уравнения

$$\omega^2 - (\varepsilon^2 \mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2) \omega + \varepsilon^2 \mathcal{G}_1 \mathcal{G}_2 = 0. \quad (23)$$

Решая уравнения (23) определим корни характеристического уравнения:

$$\omega_1 = \varepsilon^2 \mathcal{G}_1, \quad \omega_2 = \mathcal{G}_2. \quad (24)$$

Используя выражения (24) проанализируем зависимость ω_1 и ω_2 от параметров системы:

а) если

$$\varepsilon^2 > -r^2 g(r),$$

тогда корни ω_1, ω_2 действительны, их произведение равно

$$\omega_1 \cdot \omega_2 = \frac{\varepsilon^4}{r^2} (1 - \varepsilon^2 - r^2 g(r)).$$

Отсюда, если

$$|\omega_1| > \frac{\varepsilon^2}{r} \left(1 + \sqrt{\varepsilon^2 + r^2 g(r)} \right),$$

тогда

$$|\omega_2| < \frac{\varepsilon^2}{r} \left(1 - \sqrt{\varepsilon^2 + r^2 g(r)} \right)$$

и наоборот. Тогда $F^k \cdot \delta_0$ при $k \rightarrow \infty$ или $k \rightarrow -\infty$ неограниченно возрастает, то соответствующее значение ω не является собственными значениями;

б) если

$$\varepsilon^2 < -r^2 g(r),$$

то корни ω_1, ω_2 являются комплексно сопряженными:

$$|\omega_1| = |\omega_2|.$$

В этом случае, матрица коэффициентов $F^k \cdot \delta_0$ при любом δ_0 остается ограниченным. Причем, каждое решение системы уравнения (21) является собственной функцией, и соответствующие значения ω является двукратно вырожденными собственными значениями;

в) если $\varepsilon^2 = -r^2 g(r)$, тогда

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{\varepsilon^2}{r}.$$

В этом случае, по меньшей мере, существует один вектор δ_0 , удовлетворяющий равенству $F \cdot \delta_0 = \pm \delta_0$. В этом случае ω_1, ω_2 от T не зависят.

Следовательно, решение системы (18) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &= C_1 \exp(\omega_1 x) + D_1 \exp(\omega_2 x), \\ \mu_2(x) &= C_2 \exp(\omega_1 x) + D_2 \exp(\omega_2 x). \end{aligned} \quad (25)$$

Здесь $C_i, D_i (i = 1, 2)$ - интегральные константы зависят от краевых условий (5) и от коэффициентов системы уравнения (18) (или (4)). Таким образом, характер поведения μ_1, μ_2 вблизи особой точки $(q^*(r, \varepsilon), T^*(r, \varepsilon))$, определенным образом зависит от значения ω_1, ω_2 .

4. Вычислительный эксперимент. Для изучения, модельного представленного решений задачи (4) -(5) были взяты параметры конкретной среды из работ [7, 8, 10, 15]. В зависимости от начального распределения стационарной температуры и типа граничных условий наблюдается различная эволюция температурного сигнала.

Давайте создадим структуры в фазовой плоскости, которые определяют поведение при решении граничных задач. Задавая значения A и приведём численный расчет используя выражением (9) относительно теплового потока ω , мы получаем координаты ветвей в зависимости от температуры u .

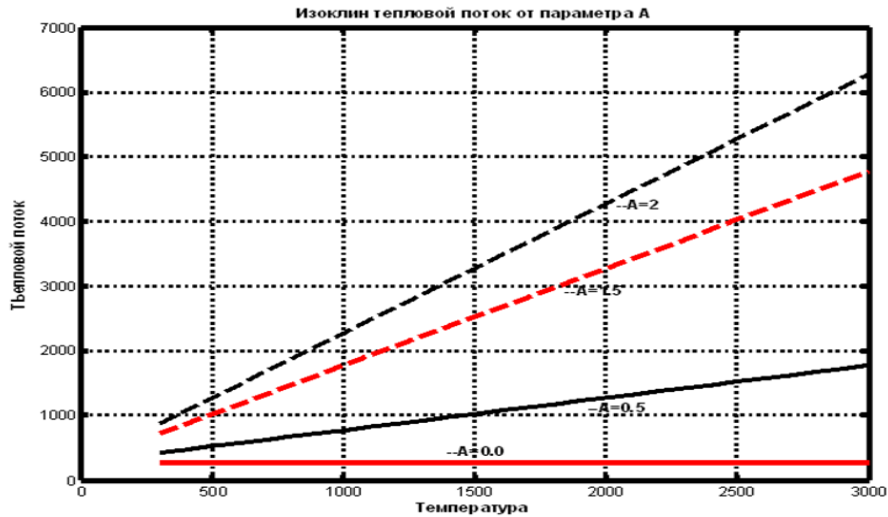
На рисунке 1 изоклины созданы для значений $\frac{d\omega}{du} = A$, при равных 0.0; 0.5;

1.5; 2 и интегральные кривые получаются путем соединения соответствующие точки изоклины.

Из рисунка 1 следует, что зависимость теплового потока $q(r, \varepsilon)$ от температуры $T(r, \varepsilon)$ представляют собой семейства изоклин. Изоклин дифференциального уравнения первого порядка (6) (или (8)) является кривая на плоскости $(q(r, \varepsilon), T(r, \varepsilon))$, вдоль которой цилиндрической поле, задаваемое дифференциальным уравнением (цилиндрический поля температуры), имеет один и тот же наклон. Обычно изоклины являются горизонтальной и вертикальной касательной, можно определить координаты стационарной точки. Семейство изоклин представляет собой ряд прямых линий, общее решение уравнение которых находится в фазовой плоскости.

Рис.1. Семейство изоклин для уравнения (6).

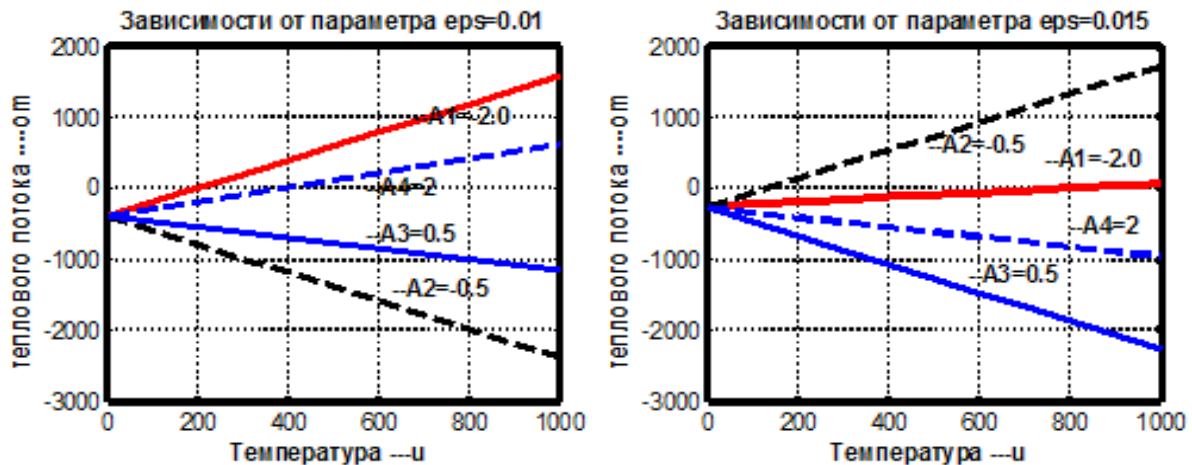
Fig. 1. Family of isoclines for equation (6).



На рисунке 2 показана структура фазового портрета стационарной системы (4) в зависимости от малого параметров ε .

Рис.2. Температурная зависимость теплового потока при разных значениях параметра ε .

Fig.2. Temperature dependence of the heat flux for different values of the parameter ε .



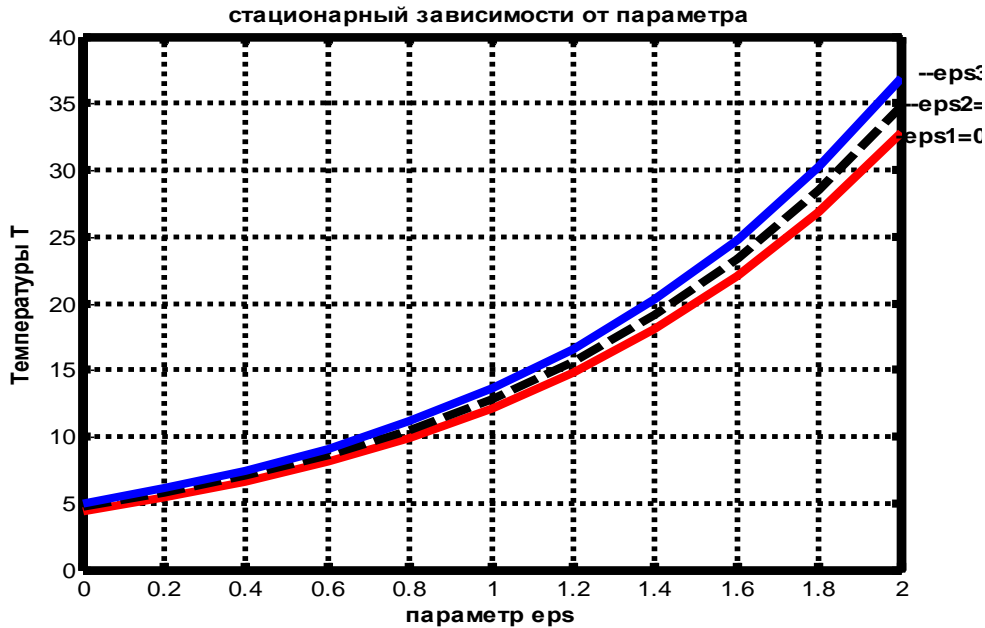
Из рисунка 2 следует, что диапазон возможных решений стационарной задачи (4)-(5) он ограничен отрезками прямой линии, начальным распределением переменных с параметрическими выражениями (9) и (10) относительно ε и A , и соответствующие сегменты u - температурных ветвей.

На рисунке 3 и 4 представлено модельное решение вида (19) (25) в зависимости от координаты x при заданных разных значениях малых параметров ε .

На рисунке 3 построены изменение стационарное температуры при известных малых параметрах ε , а интегральные кривые получают путем соединения соответствующих точек координаты x .

Рис. 3. Изменение стационарное температуры при разных значениях параметра ε : $\varepsilon_1 = 0.01$; $\varepsilon_2 = 0.015$; $\varepsilon_3 = 0.02$.

Fig.3. Stationary temperature change for different parameter values ε : $\varepsilon_1 = 0.01$; $\varepsilon_2 = 0.015$; $\varepsilon_3 = 0.02$.

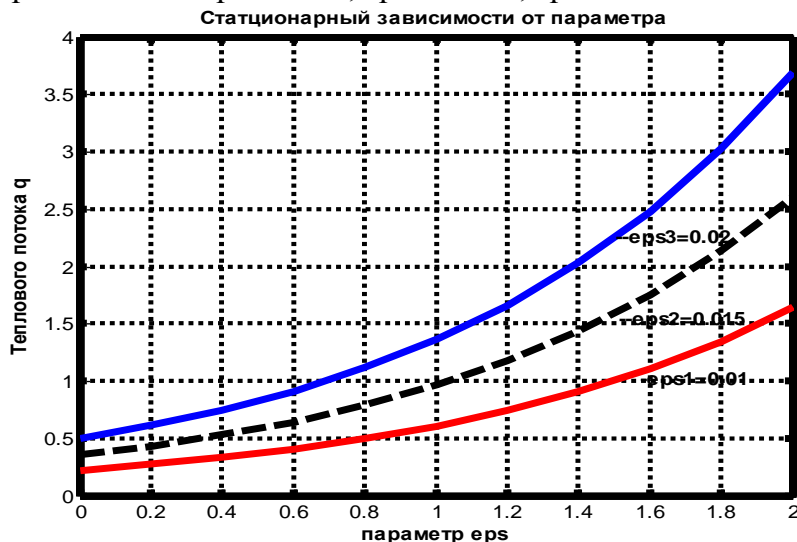


Из рисунка 3 следует, что стационарной температуры (решение вида (19)) в зависимости от параметра ε нелинейно возрастает при увеличении координатной длине x . Класс таких решений представляет собой ряд нелинейных линий, общее уравнение которых находится на фазовой цилиндрических геометрия.

На рисунке 4 представлено изменение теплового потока в зависимости от координаты x при заданных разных значениях малых параметров ε .

Рисунок 4. Зависимости теплового потока от значения координат x и числа малых параметров ε : $\varepsilon_1 = 0.01$; $\varepsilon_2 = 0.015$; $\varepsilon_3 = 0.02$.

Figure 4. Dependences of the heat flux on the value of the coordinates x and the number of small parameters ε : $\varepsilon_1 = 0.01$; $\varepsilon_2 = 0.015$; $\varepsilon_3 = 0.02$.



Из рисунка 4 видно, что плотность тепловой поток формировать от начального распространения, непрерывно заполняя указанную область, пока полностью не совпадут с решением пограничного слоя задачи.

Из решений (25) и графиков следует, что определенное приближенное решение задачи (1)-(2) в виде (25), близко к решению задачи (3)-(4).

5. Заключение. В общем случае, когда тип сингулярно-возмущенных дифференциальных уравнений второго порядка изменяется в типе системе уравнений, количество особых точек изменятся. Следовательно, в общем случае

фазовую плоскость можно разделить на области с различным поведением стабильных и нестабильных решений системы уравнений. Для задачи о тепловом потоке и температуре, рассмотренной выше, это происходит, когда небольшой параметр, описывающий поведение температуры и теплового потока (нелинейная функция переменных координат), изменит свою структуру по сравнению с некоторыми параметрами, включенными в уравнение или систему уравнений.

Во многих физических задачах представляет интерес модельное исследование стационарных (установившихся) решений. В этом случае сингулярные возмущенные обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка, то есть стационарные уравнения теплопроводности с одной пространственной переменной, превращаются в краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с неизвестными функциями температуры и теплового потока. Поскольку краевая задача порождается преобразованием стационарного уравнения теплопроводности, то важным аспектом ее изучения является анализ поведения решений краевой задачи в виде некоторых фазовых структур, а не фазовых точек.

Метод модельного представления аналитического решения для анализа задачи можно рассматривать как разновидность когнитивной графики, которая используется на таких этапах технологии вычислительного эксперимента, как построение модели и ее верификация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
2. Luikov, A.V. Thermal conductivity of porous systems / A.V Luikov, A.G. Shashkov, L.L. Vasiliev, Yu.E. Fraiman // International Journal of Heat and Mass Transfer. -1968. -Vol.11. -Issue 2. – Pp. 117–140.
3. Алексеев, В.П. Системное проектирование термоустойчивых радиотехнических устройств и систем / В.П. Алексеев. –Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН 2004. – 316 с.
4. Петухов, Б.С. Теплообмен в ядерных энергетических установках. /Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалёв. – М.: Изд-во МЭИ 2003. – 470 с.
5. Ачилов, Б.М. Гармонический анализ суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации /Б.М.Ачилов. В.В. Чигунков//–Ташкент: Гелиотехника,1981. -№2. – С.54-59.
6. Складар, С.Н. Проекционный метод построения разностных схем для задач с пограничными слоями /С.Н. Складар, Ж.Ж. Бакиров// Известия НАН Киргизской Республики. Эхо науки. -1997. -№2-3. – С. 36-47.
7. Джураев, Х.Ш. О приближенно-аналитическом решении краевых задач для сингулярно-возмущенного уравнения стационарной теплопроводности/ Х.Ш. Джураев, Г.Х. Джураева // Проблемы автоматизации и управления. -2021. №1 (40). – С.31-38.
8. Джураева, Г.Х. О аналитическом решении краевых задач для сингулярно-возмущенного уравнения стационарной теплопроводности /Г.Х. Джураева //Материалы Международной конференции на тему «Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и 80-летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, член-корреспондента Национальной академии наук Таджикистана, доктора физико-математических наук, профессора Бобоева Тошбоя Бобоевича (27октября 2022 года). – Душанбе: Изд-во ТНУ, 2022. – С. 107-109.
9. Джураева, Г.Х, Модельное исследование сингулярно-возмущенного стационарного процесса теплообмена в конденсированной среде / Г.Х. Джураева // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года). –Душанбе: ТНУ, 2023. – С. 55-64.
10. Джураев, Х.Ш. Стационарное распределение тепла в бесконечной полосе /Х.Ш. Джураев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2017. -№1/5. – С.83-87.
- 11.Джураев, Х.Ш. Стационарное распределение тепла с помощью математической модели процесса теплопроводности/Х.Ш.Джураев// Проблемы автоматизации и управления. -2017. -№2 (33). – С.10-20.

12. Джураев, Х.Ш. Исследование распределения теплового потока в неограниченной среде при наличии внешнего источника /Х.Ш.Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов // Научно-технический вестник Поволжья. -2015. -№6. – С.10-13.

13. Джураев, Х.Ш. Исследование теплопроводности в ограниченной среде методом искусственной гиперболизации /Х.Ш. Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов // Вестник Таджикский национальный университет. Серия естественных наук. -2015. -№1/5 (188). – С.53-61.

14. Джураев, Х.Ш. Исследование зависимости стационарного распределение теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, К. Комилов, А.М. Наджмиддинов//Вестник Таджикский национальный университет. Серия естественных наук. -2016. -№1/1 (192). –С.114-120.

15. Джураев, Х.Ш. Явление переноса энергии и массы в конденсированных средах: математическое моделирование, оптимизация, практические приложения / Х.Ш. Джураев.– Душанбе: ЭР-граф, 2021. – 236 с.

16. Якубов, Б. Модельное исследование зависимости концентрации веществ от параметров системы / Б.Якубов, Х.Ш. Джураев, К.Комилов //Материалы Тринадцатой Международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии»посвящённой 60-летию д.т.н., профессор, член.корр. НАНТ Кабулиева Зайналобуди Валиевича (Кобули Зайналобуди Вали) и 70-летию Заслуженного деятель науки и техники Таджикистана, д.т.н., профессора, академика ИА РТ, академика МИА, академика МАХ Сафарова Махмадали Махмадиевича (17-20 октября 2022 г. Душанбе). –Душанбе, 2022. - С.218-221.

17. Комилов, К. Модельное исследование процессов стационарного теплообмена в конденсированных средах /К. Комилов, Б. Якубов, Х.Ш. Джураев, З.С. Норматов // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года). –Душанбе: ТНУ, 2023. – С.4-12.

18. Джураев, Х.Ш. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов //Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. -2023. -№1. – 260 с.

19. Джураев, Х.Ш. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения теплового потока от температуры в конденсированных средах /Х.Ш. Джураев, А.М. Наджмиддиниён, Д.К. Солихов // Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему «Математические и компьютерные моделирование физических процессов» посвященной 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (9 февраля 2023 года). –Душанбе: ТНУ, 2023. -с.20-30.

20. Juraeva, H.Sh. Investigation of Conductivity of Nanostructures Using A Mathematical Model / H.Sh. Juraeva, G. H. Juraeva // Journal of Physics: Conf. Ser. -2022. –Vol 2270. – 012015

21. Васильева, А.Б. Сингулярно-возмущенные уравнения в критических случаях /А.Б. Васильева, В.Ф. Бутузов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 108 с.

22. Боголюбов, Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. /Н.Н. Боголюбов, Ю.Ф. Митропольский //–М.: Наук, 1974. – 410 с.

23. Мищенко, Е.Ф. Дифференциальные уравнения с малым параметром и релаксационные колебания. /Е.Ф. Мищенко, Н.Х. Розов. –М.: Наука, 1975. –227 с.

24. Бутузов, В.Ф. Сингулярные возмущения. Математика, кибернетика /В.Ф. Бутузов. –1988. - №1. – 50 с.

25. Скляр, С.Н. Разностные схемы для решения задач теплопереноса в различных системах координат /С.Н. Скляр, О.С. Хлыбов // AUCA Academic Review. Section IV. Natural Science sanding formational Ethnology. -2006. –С.219-229.

26. Крутов, Ю.М. Моделирование горения пылевидной коксовой частицы в присутствии водяного пара /Ю.М. Крутов, Д.В. Решетняк, И.И. Токарев // Энергосбережение. Энергетика. Энерго аудит. -2013. - №5 (111). –С.47-57.

27. Шепакина, Е.А. Критические условия самовоспламенения в пористой среде. /Е.А. Шепакина // Химическая физика. -2001. -№7. –С.3-9.

28. Джураева, Г.Х. Исследование математических моделей и соответствующих краевых задач с сингулярными коэффициентами. Монография. / Г.Х. Джураева. –Душанбе: ЭР-граф, 2021. –100 с.

REFERENCES

1. Luikov, A.V. Theory of thermal conductivity / A.V. Luikov. – М.: Visshaya shkola, 1967. – 600 p.
2. Luikov, A.V. Thermal conductivity of porous systems / A.V. Luikov, A.G. Shashkov, L.L. Vasiliev, Yu.E. Fraiman // International Journal of Heat and Mass Transfer. -1968. -Vol.11. -Issue 2. –Pp. 117–140.

3. Alekseev, V.P. System design of thermally stable radio engineering devices and systems / V.P. Alekseev. – Tomsk: Publishing House of the Institute of Atmospheric Optics SB RAN, 2004. –316 p.
4. Petukhov, B.S. Heat transfer in nuclear power plants. /B.S. Petukhov, L.G. Genin, S.A. Kovalev. -Moscow: Publishing House of MEI? 2003. – 470 p.
5. Achilov, B.M. Harmonic analysis of daily fluctuations in outdoor air temperature and solar radiation intensity /B.M.Achilov. V.V. Chugunkov // *Helioelektronika*. –1981. –No.2. –Pp.54-59.
6. Sklyar, S.N. Projection method for constructing difference schemes for problems with boundary layers /S.N. Sklyar, J.J. Bakirov // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. Echo of Science*. –1997. –No.2-3. –Pp.36-47.
7. Juraev, Kh. Sh. On the approximate-analytical solution of boundary value problems for a singularly perturbed equation of stationary heat conduction. / H. Sh. Juraev, G.Kh. Juraeva // *Problems of automation and control*. –2021. –No.1(40). –Pp.31-38.
8. Juraeva, G.Kh. On the analytical solution of boundary value problems for a singularly perturbed equation of stationary heat conduction / G.Kh. Juraeva // *Proceedings of the International Conference on the topic "The role of physics in the development of science, education and innovation", dedicated to the "Twentieth anniversary of the study and development of natural, exact and mathematical sciences in the field of science and education (2020-2040)" and the 80th anniversary of the memory of the Honored Figure of Science and Technology of Tajikistan, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor Boboev Toshboy Boboevich*. –Dushanbe: Publishing House of TNU, 2022. –Pp.107-109.
9. Juraeva G/ KH. Model study of a singularly perturbed stationary process of heat transfer in a condensed medium / G. KH. Juraeva // *Materials of the Republican scientific-practical conference on the topic "Mathematical and computer modeling of physical processes" dedicated to the 20th anniversary of the study and development of natural, exact and mathematical disciplines in the field of science and education (February 9, 2023)*. –Dushanbe: TNU, 2023. –Pp. 55-64.
10. Juraev, Kh.Sh. Stationary heat distribution in an infinite strip / Kh.Sh. Juraev // *Bulletin of the Tajik National University. The Natural Sciences Series*. –2017. –No. 1/5. –Pp. 83-87.
11. Juraev, Kh.Sh. Stationary heat distribution using a mathematical model of the heat conduction process, / Kh.Sh. Juraev // *Problems of automation and control*. –2017. –No. 2 (33). –Pp.10-20.
12. Juraev, Kh.Sh. Investigation of heat flow distribution in an unrestricted medium in the presence of an external source / Kh.Sh. Dzhuraev, K. Komilov, Z.S. Normatov // *Scientific and technical bulletin of the Volga region*. –2015. No 6. –Pp.10-13.
13. Juraev, Kh.Sh. Investigation of thermal conductivity in a limited environment by the method of artificial hyperbolization / Kh.Sh. Juraev, K. Komilov, Z.S. Normatov // *Bulletin of the Tajik National University. The Natural Sciences Series*. –2015. –No. 1/5 (188). –Pp.53-61.
14. Juraev, Kh.Sh. Investigation of the dependence of the stationary distribution of heat flux on temperature in condensed media / Kh.Sh. Juraev, K. Komilov, A.M. Najmiddinov // *Bulletin of the Tajik National University. The Natural Sciences Series*. –2016. –№1/1 (192). –Pp.114-120.
15. Juraev, Kh.Sh. Phenomenon of energy and mass transfer in condensed media: mathematical modeling, optimization, practical applications / Kh.Sh. Juraev. - Dushanbe: ER-graph, 2021. –236 p.
16. Yakubov, B. Model study of dependence of substance concentration on system parameters / B. Yakubov, Kh.Sh. Juraev, K.Komilov // *Materials of the Thirteenth International Thermophysical School "Thermophysics and Information Technologies" dedicated to the 60th anniversary of Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member. NAST Kabuliye Zainalobuddin Valievich (Kobuli Zainalobuddini Vali) and the 70th anniversary of the Honored Worker of Science and Technology of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the IA RT, Academician of the International Academy of Arts, Academician of the MAX Safarov Mahmatali Mahmadiyevich (October 17-20, 2022, Dushanbe)*. – Dushanbe, 2022. –Pp.218-221.
17. Komilov, K. Model study of stationary heat transfer processes in condensed media /K. Komilov, B. Yakubov, Kh.Sh. Juraev, Z.S. Normatov // *Proceedings of the Republican scientific and practical conference on the topic "Mathematical and computer modeling of physical processes" dedicated to the 20th anniversary of the study and development of natural, exact and mathematical disciplines in the field of science and education (February 9, 2023)*. – Dushanbe: TNU, 2023. –Pp.4-12.
18. Juraev, Kh.Sh. Model representation of the analytical solution of the dependence of the stationary state of the nonlinear distribution of heat flux on temperature in condensed media / Kh.Sh. Juraev, A.M. Najmiddinon, D.K. Solikhov // *Bulletin of the Tajik National University. The Natural Sciences Series*. –2023. – No1. –260 p.
19. Juraev, Kh.Sh. Model representation of the analytical solution of the dependence of the stationary state of the nonlinear distribution of heat flux on temperature in condensed media / Kh.Sh. Juraev, A.M. Najmiddinon, D.K. Solikhov // *Proceedings of the Republican scientific and practical conference on the topic*

"Mathematical and computer modeling of physical processes" dedicated to the 20th anniversary of the study and development of natural, exact and mathematical disciplines in the field of science and education (February 9, 2023). – Dushanbe: TNU, 2023. – Pp. 20-30

20. Juraeva, H.Sh. Investigation of Conductivity of Nanostructures Using A Mathematical Model / H.Sh. Juraeva, G. H. Juraeva // Journal of Physics: Conf. Ser. -2022. –Vol 2270. –012015 p

21. Vasilyeva, A.B. Singularly perturbed equations in critical cases. /A.B. Vasilyeva, V.F. Butuzov // - M.: Publishing House of Moscow State University, 1987. –108 p.

22. Bogolyubov, N.N. Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations. / N.N. Bogolyubov, Yu.F. Mitropolsky. –M.: Nauka, 1974. –410 p.

23. Mishchenko, E.F. Differential Equations with a Small Parameter and Relaxation Oscillations. / E.F. Mishchenko, N.Kh. Rozov. –M.: Nauka, 1975. –227 p.

24. Butuzov, V.F. Singular perturbations. /V.F. Butuzov // Mathematics, cybernetics. –1988. –No.1. –50 p.

25. Sklyar, S.N. Difference schemes for solving heat transfer problems in various coordinate systems /S.N. Sklyar, O.S. Khlybov // AUCA Academic Review. Section IV. Natural Science sanding formational Ethnology. –2006. –Pp.219-229.

26. Krutov, Yu. M. Modeling of combustion of pulverized coke particles in the presence of water vapor / Yu. M. Krutov, D.V. Reshetnyak, I.I. Tokarev // Energy saving. Energy. Energy audit. –2013. –No.5(111). – Pp.47-57.

27. Shepakina, E.A. Critical conditions of self-ignition in a porous medium. /E.A. Shepakina // Chemical Physics. –2001. –No.7. –Pp.3-9.

28. Juraeva, G. Kh. Study of mathematical models and corresponding boundary value problems with singular coefficients. Monograph. / G. Kh. Juraeva. –Dushanbe: ER-graph, –2021. –100 p.

ТАДҚИҚИ ПАДИДАИ СТАТСИОНАРИИ ИНТИҚОЛИ ГАРМӢ ДАР МУҲИТИ КОНДЕНСИИ СИЛИНДРӢ

Усули омӯзиши ҳалли тахминии аналитикии масъалаҳои сарҳадӣ барои муодилаи ошубии статсионарии табодулоти гармӣ дар муҳити конденсии цилиндрӣ пешниҳод шудааст, ба ҳалли масъалаи мувофиқ, ки аз он ҳангоми ба сфир баробар будани параметр ҳосил мешавад, наздик мебошад. Вазифаи асосие, ки сохтори мақоларо муайян мекунад, таҳияи моделҳои математикӣ ва компютери ҳодисаи статсионарии интиқоли гармӣ дар муҳити конденсии ҳамвор ва модели интиқоли энергияи диффузию реактивӣ вобаста ба гармигузаронии маводҳо мебошад. Натиҷаҳои таҷрибаҳои адабии вобастагии сели гармӣ аз қимати ҳарорат дар муҳити конденсии ҳамвор шарҳ дода шудаанд. Ҳангоми гузаронидани таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ маълумоти шиносномаи дар адабиёт мавҷудбуда барои яке аз масъалаҳои умумӣ истифода шудаанд. Дар асоси натиҷаҳои бадастовардашуда ба хулосае омадан мумкин аст, ки чараёни гармӣ бо баланд шудани сели ҳарорат бетағйир мемонад ва гармигузаронӣ бо қабатҳои сарҳадӣ ва бо маълумоти адабиёт мувофиқро таъкид мекунад.

Калидвожаҳо: худуд, сингулярӣ ошӯбӣ, параметри хурд, усули фазавии ҳамвор, қабатҳои сарҳадӣ ва гузариш, сели гармӣ, ҳарорат.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОЕ ЯВЛЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Представлен метод исследования приближенных аналитических решений краевых задач сингулярно-возмущенных уравнений стационарных процессов теплообмена в цилиндрической конденсированной среде, близких к решению краевой задачи для невозмущенного уравнения. Основной задачей, в которой определена структура статьи, является разработка математической и компьютерной моделей стационарного явления теплообмена в плоских конденсированных средах и модели диффузионно-реактивного переноса энергии в зависимости от теплопроводности материалов. Дана интерпретация полученных результатов численных экспериментов зависимости теплового потока от значения температуры в цилиндрической конденсированной среде. При проведении численных экспериментов использовались имеющиеся в литературе паспортные данные для одной из типовых задач. Из полученных результатов можно сделать вывод, что с ростом температуры тепловой поток остается неизменным, а теплопроводность иллюстрируется наличием пограничных слоев и качественным соответствием литературным данным.

Ключевые слова: придел, сингулярной возмущенный, малый параметр, метод фазовый плоскость, пограничные и переходные слои, поток тепла, температуры.

INVESTIGATION OF THE STATIONARY PHENOMENON OF HEAT TRANSFER IN A CYLINDRICAL CONDENSED MEDIUM

A method for investigating approximate analytical solutions of boundary value problems of singularly perturbed equations of stationary heat transfer processes in a cylindrical condensed medium, close to solving the boundary value problem for an undisturbed equation, is presented. The main task in which the structure of the article is defined is the development of mathematical and computer models of the stationary phenomenon of heat

transfer in flat condensed media and a model of diffusion-reactive energy transfer depending on the thermal conductivity of materials. An interpretation is given of the results of numerical experiments on the dependence of the heat flux on the temperature value in a flat condensed medium. When carrying out numerical experiments, the passport data available in the literature for one of the typical problems were used. Based on the results obtained, it can be concluded that the heat flux remains unchanged with increasing temperature, and the thermal conductivity is illustrated by the presence of boundary layers and qualitative agreement with the literature data.

Key words: aise, singular perturbed, small parameter, phase plane method, boundary and transition layers, heat flux, temperature.

Маълумот дар бораи маллиф: **Ҷӯраева Гулшан Хайруллоевна** – Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айнӣ, номзади илмҳои физика ва математика, дотсенти кафедраи геометрия ва математикаи олий. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Тоҷикистон, хиёбони Рудаки, 121. **Телефон:** (+992) 911-11-04-31. **E-mail:** gulshandjuraeva9@gmail.com

Сведение об авторе: **Джураева Гулшан Хайруллоевна** – Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Аини, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геометрии и высшей математики. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Таджикистан, проспект Рудаки, 121. **Телефон:** (+992) 911-11-04-31. **E-mail:** gulshandjuraeva9@gmail.com

Information about the author: Juraeva Gulshan Khayrulloevna – Tajik State Pedagogic University named after Sadrididdi Aini, Candidates of Physical and Mathematical Sciences, dotsent of the Department of Geometric and higlet Mathematics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 121. **Phone:** (+992) 911-11-04-31. **E-mail:** gulshandjuraeva9@gmail.com

УДК: 517.955

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ ПЕРЕОПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА, СОДЕРЖАЩЕЙ ОСОБЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Хомиддин С.

Академия государственного управления при Президенте Республики Таджикистан
Предположим, что область D является прямоугольником вида

$$D = \{(x, y): 0 < x < \delta_1, 0 < y < \delta_2\}.$$

Кроме того, будем использовать следующие обозначения:

$$\Gamma_1 = \{y = 0, 0 < x < \delta_1\}, \Gamma_2 = \{x = 0, 0 < y < \delta_2\}.$$

Теперь в прямоугольнике D будем рассматривать систему дифференциальных уравнений вида

$$\begin{cases} u_{xy} + a_1(x, y)r^{-\alpha}u_x + b_1(x, y)r^{-\beta}u_y + c_1(x, y)r^{-(\alpha+\beta)}u = f_1(x, y)r^{-(\alpha+\beta)}, \\ u_x + a_2(x, y)x^{-\gamma}u = f_2(x, y)x^{-\gamma}, \\ u_y + b_2(x, y)y^{-\delta}u = f_3(x, y)y^{-\delta}, \end{cases} \quad (1)$$

Где $r^2 = x^2 + y^2$, $a_i(x, y), b_i(x, y), c_1(x, y), f_j(x, y)$, $i = 1, 2; j = 1, 2, 3$ являются произвольными заданными функциями в области D , $\alpha > 2, \alpha \in N, \beta = 2, \gamma = \delta = 1$.

Следует отметить, что исследованию уравнений и переопределённых систем дифференциальных уравнений с сингулярными и суперсингулярными коэффициентами посвящено много работ, например, [1] – [17].

В данной работе, используя подход, разработанный в работах [4] и [5], нами получены для системы уравнений (1) представления многообразия решений с помощью одной произвольной постоянной.

Далее, мы будем использовать обозначение $C_2(D)$, под которым будем понимать класс функций, имеющих непрерывные производные первого порядка в D и такие, что $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \in C_2(D)$.

Случай 1. Предположим, что первое уравнение системы (1) есть главное. Тогда имеет место следующая

Теорема 1. Предположим, что в системе уравнений (1) $\alpha > 2$,

$\beta = 2, \gamma = \delta = 1$. Кроме того, предположим, что коэффициенты и правые части уравнений удовлетворяют следующим условиям:

1) $a_1(x, y) \in C_x^1(\bar{D}), a_2(x, y) \in C_y^1(\bar{D}),$

$b_1(x, y), c_1(x, y), f_1(x, y) \in C(\bar{D}), f_2(x, y) \in C_y^1(\bar{D});$

2) $c_1(x, y) = r^{\alpha+2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{a_1(x, y)}{r^\alpha} \right) + a_1(x, y)b_1(x, y);$

3) $|a_1(x, y) - a_1(0, 0)| \leq H_1 r^{\alpha_1}, H_1 = const, \alpha_1 > \alpha - 1,$

$|b_1(x, y) - b_1(0, 0)| \leq H_2 r^{\beta_1}, H_2 = const, \beta_1 > 1,$

$|a_2(x, 0) - a_2(0, 0)| \leq H_3 x^{\lambda_1}, H_3 = const, 0 < \lambda_1 < 1;$

4) $a_1(0, 0) < 0, b_1(0, 0) > 0, a_2(0, 0) > 0;$

5) а) $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{a_1(x, y)}{r^\alpha} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{a_2(x, y)}{x} \right)$ в D ,

б) $xr^{\alpha+2} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{f_2(x, y)}{x} \right) + r^2 x^{-1} a_1(x, y) f_2(x, y) = x f_1(x, y)$ в D

при $r^2 a_2(x, y) = x b_1(x, y)$,

$$c) \text{ y exp} \left[-W_{b_1}^2(x, y) - \frac{b_1(0,0)}{y} \arctan \frac{x}{y} \right] \left(\psi_1(y) + \int_0^x \frac{f_1(t, y)}{(t^2 + y^2)^{\frac{\alpha+2}{2}}} \exp \left[W_{b_1}^2(t, y) + \frac{b_1(0,0)}{y} \arctan \frac{t}{y} \right] dt \right) = f_3(x, y) \text{ в } D$$

при $r^2 b_2(x, y) = y a_1(x, y)$;

$$6) f_1(x, y) = o \left(\exp \left[\frac{b_1(0,0)}{y} \arctan \frac{x}{y} \right] r^{\lambda_1} \right), \quad \lambda_1 > \alpha + 1.$$

Тогда всякое решение системы уравнений (1) из класса $C_2(D)$ можно представить в виде

$$u(x, y) = \exp \left[-W_{a_1}^\alpha(x, y) - a_1(0,0) W_{\frac{\alpha}{2}-1}^{(1)}(x, y) \right] \left\{ \varphi_1(x) + \int_0^y \exp \left[W_{a_1}^\alpha(x, s) + a_1(0,0) W_{\frac{\alpha}{2}-1}^{(1)}(x, s) - W_{b_1}^2(x, s) - \frac{b_1(0,0)}{s} \arctan \frac{x}{s} \right] \times \right. \\ \left. \times \left(\psi_1(s) + \int_0^x \frac{f_1(t, s)}{(t^2 + s^2)^{\frac{\alpha+2}{2}}} \exp \left[W_{b_1}^2(t, s) + \frac{b_1(0,0)}{s} \arctan \frac{t}{s} \right] dt \right) ds \right\} \equiv \\ \equiv T_1(\varphi_1(x), \psi_1(y), f_1(x, y)), \quad (2)$$

где

$$\varphi_1(x) = x^{-a_2(0,0)} \exp \left[-W_{a_2}^1(x, 0) \right] \left(c_1 + \int_0^x \frac{f_2(t, 0)}{t^{1-a_2(0,0)}} \exp \left[W_{a_2}^1(t, 0) \right] dt \right) \\ \equiv N_1(c_1, f_2(x, 0)) \quad (3)$$

$$\psi_1(y) = \frac{f_3(0, y)}{y^\delta}, \quad (4)$$

в котором

$$W_{a_1}^\alpha(x, y) = \int_0^y \frac{a_1(x, s) - a_1(0,0)}{(x^2 + s^2)^{\frac{\alpha}{2}}} ds, \\ W_{\frac{\alpha}{2}-1}^{(1)}(x, y) = \frac{y}{x^2(\alpha-2)r^{\alpha-2}} + \frac{1}{x^2} \frac{\alpha-3}{\alpha-2} J_{\frac{\alpha}{2}-1}^{(1)}(x, y), \\ J_{\frac{\alpha}{2}-1}^{(1)}(x, y) = \int_0^y \frac{ds}{(x^2 + s^2)^{\frac{\alpha}{2}-1}}, \quad W_{b_1}^2(x, y) = \int_0^x \frac{b_1(t, y) - b_1(0,0)}{t^2 + y^2} dt, \\ W_{a_2}^1(x, 0) = \int_0^x \frac{a_2(t, 0) - a_2(0,0)}{t} dt,$$

c_1 — произвольная постоянная.

Нетрудно заметить, что полученное решение обладает следующими свойствами:

1⁰. Если $y \rightarrow 0$, то

$$\lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) = \varphi_1(x).$$

2⁰. Если $y \rightarrow 0$ и $x \rightarrow 0$, то

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left\{ \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = o(x^{-a_2(0,0)}).$$

$$3^0. \lim_{x \rightarrow 0} \left\{ x^{a_2(0,0)} \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = c_1.$$

4⁰. Если $x \rightarrow 0$ и $y \neq 0$, то

$$u(x, y) = o \left(\exp \left[-a_1(0,0) W_{\frac{\alpha}{2}-1}^{(1)}(x, y) \right] \right).$$

Случай 2. Предположим, что второе уравнение системы (1) является исходным. В этом случае получим следующее утверждение.

Теорема 2. Предположим, что в системе уравнений (1) $\alpha > 2$,

$\beta = 2$, $\gamma = \delta = 1$, коэффициенты и правые части удовлетворяют следующим условиям:

$$1) a_1(x, y) \in C_x^1(\bar{D}), a_2(x, y) \in C_y^1(\bar{D}), f_2(x, y) \in C_y^1(\bar{D}),$$

$$f_3(x, y) \in C_x^1(\bar{D}), f_1(x, y) \in C(\bar{D});$$

$$2) c_1(x, y) = r^{\alpha+2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{a_1(x, y)}{r^\alpha} \right) + a_1(x, y) b_1(x, y);$$

$$3) |a_2(x, y) - a_2(0,0)| \leq H_1 x^{\lambda_1}, \quad H_1 = \text{const}, \quad 0 < \lambda_1 < 1,$$

$$|a_1(0, y) - a_1(0,0)| \leq H_2 y^{\nu_1}, \quad H_2 = \text{const}, \quad 0 < \nu_1 < 1;$$

$$4) a_2(0,0) > 0, \quad a_1(0,0) > 0;$$

$$5) a) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{a_2(x, y)}{x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{a_1(x, y)}{r^\alpha} \right) \text{ в } D,$$

$$b) x r^\alpha \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{f_2(x, y)}{x} \right) + a_1(x, y) f_2(x, y) =$$

$$= x(f_1(x, y) + c_2(x, y) u_2(x, y)) \text{ в } D$$

$$\text{при } r^2 a_2(x, y) = x b_1(x, y),$$

$$c) xy \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{f_3(x, y)}{y} \right) + a_2(x, y) f_3(x, y) =$$

$$= xy \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{f_2(x, y)}{x} \right) + b_2(x, y) f_2(x, y) \quad \text{в } D.$$

Тогда всякое решение системы уравнений (1), принадлежащее классу $C_2(D)$, можно найти по формуле

$$u(x, y) = x^{-a_2(0,0)} \exp[-W_{a_2}^1(x, y)] \left(\psi_2(y) + \int_0^x \frac{f_2(t, y) \exp[W_{a_2}^1(t, y)]}{t^{1-a_2(0,0)}} dt \right) \equiv$$

$$\equiv T_2(\psi_2(y), f_2(x, y)), \quad (5)$$

$$\psi_2(y) = \exp[-W_{a_1}^\alpha(0, y) + a_1(0,0) W_{\alpha-1}(y)] c_2, \quad (6)$$

$$W_{a_2}^1(x, y) = \int_0^x \frac{a_2(t, y) - a_2(0,0)}{t} dt, \quad W_{a_1}^\alpha(0, y) = \int_0^y \frac{a_1(0, s) - a_1(0,0)}{s^\alpha} ds,$$

$$W_{\alpha-1}(y) = \frac{1}{\alpha-1 y^{\alpha-1}},$$

c_2 – произвольная постоянная.

Найденное решение имеет следующие свойства:

1⁰. Если $x \rightarrow 0$, то

$$\lim_{x \rightarrow 0} u(x, y) = O(x^{-a_2(0,0)}).$$

$$2^0. \lim_{x \rightarrow 0} \{x^{a_2(0,0)} u(x, y)\} = \psi_2(y).$$

3⁰. Если $x \rightarrow 0$ и $y \rightarrow 0$, то

$$\lim_{y \rightarrow 0} \left\{ \lim_{x \rightarrow 0} (x^{a_2(0,0)} u(x, y)) \right\} = \psi_2(0) = O(\exp[a_1(0,0)W_{\alpha-1}(y)]).$$

$$4^0. \lim_{y \rightarrow 0} \left\{ \exp[-a_1(0,0)W_{\alpha-1}(y)] \lim_{x \rightarrow 0} (x^{a_2(0,0)} u(x, y)) \right\} = c_2.$$

Случай 3. Предположим, что третье уравнение системы (1) является исходным. Имеет место следующая

Теорема 3. Предположим, что в системе уравнений (1) $\alpha > 2, \beta = 2, \gamma = \delta = 1$, коэффициенты и правые части удовлетворяют следующим условиям:

$$1) \quad a_1(x, y) \in C_x^1(\bar{D}), a_2(x, y) \in C_y^1(\bar{D}), f_2(x, y) \in C_y^1(\bar{D}),$$

$$b_2(x, y) \in C_x^1(\bar{D}), f_3(x, y) \in C_x^1(\bar{D}), f_1(x, y) \in C(\bar{D});$$

$$2) \quad c_1(x, y) = r^{\alpha+2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{a_1(x, y)}{r^\alpha} \right) + a_1(x, y)b_1(x, y);$$

$$3) \quad |b_2(x, y) - b_2(0,0)| \leq H_1 y^{\mu_1}, \quad H_1 = \text{const}, \quad 0 < \mu_1 < 1,$$

$$|a_2(x, 0) - a_2(0,0)| \leq H_2 x^{\lambda_1}, \quad H_2 = \text{const}, \quad 0 < \lambda_1 < 1,$$

$$4) \quad b_2(0,0) > 0;$$

$$a) \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{b_2(x, y)}{y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{a_2(x, y)}{x} \right) \quad \text{в } D,$$

$$b) \quad y \exp \left[-W_{b_1}^2(x, y) - \frac{b_1(0,0)}{y} \arctan \frac{x}{y} \right] \left(\psi_1(y) \right.$$

$$\left. + \int_0^x \frac{f_1(t, y)}{(t^2 + y^2)^{\frac{\alpha+2}{2}}} \exp \left[W_{a_1}^2(t, y) + \frac{b_1(0,0)}{y} \arctan \frac{t}{y} \right] dt \right)$$

$$= f_3(x, y) \quad \text{при } r^\alpha b_2(x, y) = y a_1(x, y) \quad \text{в } D,$$

$$c) \quad xy \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{f_3(x, y)}{y} \right) + a_2(x, y) f_3(x, y) =$$

$$= xy \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{f_2(x, y)}{x} \right) + b_2(x, y) f_2(x, y) \quad \text{в } D.$$

Тогда любое решение системы уравнений (1) из класса $C_2(D)$ находится по формуле

$$u(x, y) = y^{-b_2(0,0)} \exp[-W_{b_2}^1(x, y)] \left(\varphi_2(x) + \int_0^y \frac{f_3(x, s) \exp[W_{b_2}^1(x, s)]}{s^{1-b_2(0,0)}} ds \right) \equiv$$

$$\equiv K_3(\varphi_2(x), f_3(x, y)), \quad (7)$$

$$\varphi_2(x) = x^{-a_2(0,0)} \exp[-W_{a_2}^1(0, y)] c_3, \quad (8)$$

$$W_{b_2}^1(x, y) = \int_0^y \frac{b_2(x, s) - b_2(0,0)}{s} ds, \quad W_{a_2}^1(x, 0) = \int_0^x \frac{a_2(t, 0) - a_2(0,0)}{t} dt,$$

c_3 – произвольная постоянная.

Приведённое решение подчинено свойствам

1⁰. Если $y \rightarrow 0$, то

$$\lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) = O(y^{-b_2(0,0)}).$$

$$2^0. \lim_{x \rightarrow 0} \left\{ y^{b_2(0,0)} \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = \varphi_2(0) = \begin{cases} 0 & \text{при } a_2(0,0) < 0, \\ \infty & \text{при } a_2(0,0) > 0. \end{cases}$$

$$3^0. \lim_{x \rightarrow 0} \left\{ y^{b_2(0,0)} \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = O(x^{-a_2(0,0)}) \text{ при } a_2(0,0) > 0.$$

$$4^0. \lim_{x \rightarrow 0} \left\{ x^{a_2(0,0)} y^{b_2(0,0)} \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = c_3.$$

Ниже используются найденные интегральные представления для подстановки и решения следующих задач с начальными данными.

Задача A_1 . Найти решение системы уравнений (1) из класса $C_2(D)$, удовлетворяющее начальному условию

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left\{ x^{a_2(0,0)} \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = p_1,$$

где p_1 – заданное постоянное число.

Задача A_2 . Найти решение системы уравнений (1) из класса $C_2(D)$, которое удовлетворяет начальному условию

$$\lim_{y \rightarrow 0} \left\{ \exp[-a_1(0,0)W_{\alpha-1}(y)] \lim_{x \rightarrow 0} (x^{a_2(0,0)} u(x, y)) \right\} = p_2,$$

где p_2 – заданная известная постоянная.

Задача A_3 . Найти решение системы уравнений (1) из класса $C_2(D)$ по начальному условию

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left\{ x^{a_2(0,0)} y^{b_2(0,0)} \lim_{y \rightarrow 0} u(x, y) \right\} = p_3,$$

где p_3 – заданная известная постоянная.

Решение задачи A_1 . Чтобы решить задачу A_1 будем использовать интегральные представления (2), (3), (4) и условие задачи A_1 . Нетрудно показать, что $c_1 = p_1$.

Таким образом, доказана

Теорема 4. *Предположим, что выполнены все условия теоремы 1. Тогда единственное решение задачи A_1 определяется формулами (2), (3), (4), где $c_1 = p_1$.*

Об однозначной разрешимости задач A_2 и A_3 доказаны следующие

Теорема 5. *Предположим, что коэффициенты и правые части системы уравнений (1) удовлетворяют всем условиям теоремы 2. Тогда единственное решение задачи A_2 выражается формулами (5), (6), где*

$$c_2 = p_2.$$

Теорема 6. *Предположим, что коэффициенты и правые части системы уравнений (1) удовлетворяют всем условиям теоремы 3. Тогда единственное решение задачи A_3 выражается формулами (7), (8), где*

$$c_3 = p_3.$$

Литература

1. Wilczynski E.J. Projective Differential Geometry of Curves and Ruled Sur-faces. -Zeip. Zig; Leubner, 1906. – 120 p.
2. Гайшун, И.В. Линейные уравнения в полных производных/И.В. Гайшун. – Минск: Наука и техника, 1983. – 273 с.

3. Михайлов, Л.Г. Некоторые переопределенные системы дифференциальных уравнений в частных производных с двумя неизвестными функциями / Л.Г. Михайлов. – Душанбе: Дониш, 1986. – 115 с.
4. Раджабов, Н. Введение в теорию дифференциальных уравнений в частных производных со сверхсингулярными коэффициентами/Н. Раджабов. – Душанбе, 1992. – 236 с.
5. Раджабов, Н. Переопределенная линейная система второго порядка с сингулярными и сверхсингулярными линиями/ Н.Раджабов, А.А Махамед// Lap Lambert Academic Publishing. – Germany, 2011. – 234 с.
6. Тасмамбетов, Ж.Н. О развитии исследований специальных систем дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка / Ж.Н Тасмамбетов // Материалы международной научно-практической конференции "Информационные технологии: инновации в науке и образовании". - Актобе, 2015. – С. 6-17.
7. Тасмамбетов, Ж. Н. Построение нормальных и нормально – регулярных решений специальных систем дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка / Ж.Н Тасмамбетов – Актобе, 2015. – 463 с.
8. Shamsudinov F.M. About an overdetermined system second order-with singularity coefficients//Abstracts 36-th Annual Iranian Mathematics conference 10 - 13 September 2005, Yazd, Iran. - 2005. - Pp. 211 - 212.
9. Шамсудинов, Ф.М. Интегральные представления решений для одной переопределенной системы уравнений второго порядка с сингулярными коэффициентами / Ф.М. Шамсудинов // Материалы международной конференции "Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики". - Нальчик: КБНЦ РАН, 2013. – С. 282-286.
10. Шамсудинов, Ф.М. Об одной переопределенной системе дифференциальных уравнений второго порядка с сильной особенностью / Ф.М Шамсудинов // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. - 2014. -Т.16. №1. – С.40-46.
11. Шамсудинов, Ф.М. Интегральные представления решений для одной переопределенной системы дифференциальных уравнений второго порядка с сингулярными коэффициентами / Ф.М Шамсудинов // Тезисы докладов репс. науч. конф.Современные методы математической физики и их приложение с участием зарубежных учёных. – Ташкент, 2015. – С.306-308.
12. Шамсудинов Ф.М. Об одной переопределенной системе дифференциальных уравнений второго порядка с сингулярной точкой/ Ф.М Шамсудинов // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. мат. физ. – 2016. №6 (37). – С.99-107.
13. Хомиддин, С. Об одной переопределенной системе дифференциальных уравнений второго порядка с особыми коэффициентами / С. Хомиддин // Вестник филиала Московского университета имени М.В. Ломоносова в города Душанбе. – 2022. – С. 32-39.
14. Шамсудинов Ф.М. Об исследовании одного класса гиперболических уравнений второго порядка и связанных с ними переопределённых систем дифференциальных уравнений с сингулярными и сверхсингулярными точками/ Ф.М Шамсудинов // Дис...док. физ. – мат. наук. – Душанбе,2019. – 355 с.
15. Шамсудинов, Ф.М. Интегральные представления решений для одной переопределенной системы уравнений второго порядка с сильной особенностью/ Ф.М Шамсудинов// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2015., №1/4(168). – С. 37-42.
16. Шамсудинов, Ф.М. Интегральные представления решений для одной переопределенной системы второго порядка с сингулярной точкой / Ф.М Шамсудинов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. №1/1(156). – С.60-65.

REFERENCES

17. Wilczynski E.J. Projective Differential Geometry of Curves and Ruled Sur-faces. -Zeip. Zig; Leubner, 1906. – 120 p.
18. Gaishun, I.V. Linear equations in total derivatives/I.V. Gaishun. – Minsk: Science and Technology, 1983. – 273 p.
19. Mikhailov, L.G. Some overdetermined systems of partial differential equations with two unknown functions / L.G. Mikhailov. – Dushanbe: Donish, 1986. – 115 p.
20. Radzhabov, N. Introduction to the theory of partial differential equations with supersingular coefficients/N. Radjabov. – Dushanbe, 1992. – 236 p.
21. Radzhabov, N. Overdetermined linear system of the second order with singular and supersingular lines / N. Radzhabov, A.A Mahamed // Lap Lambert Academic Publishing. – Germany, 2011. – 234 p.

22. Tasmambetov, Zh.N. On the development of research on special systems of partial differential equations of the second order / Zh.N Tasmambetov // Materials of the international scientific and practical conference "Information technologies: innovations in science and education". - Aktobe, 2015. – Pp. 6-17.
23. Tasmambetov, Zh.N. Construction of normal and normally-regular solutions of special systems of partial differential equations of the second order / Zh.N Tasmambetov - Aktobe, 2015. - 463 p.
24. Shamsudinov F.M. About an overdetermined system second order-with singularity coefficients//Abstracts 36-th Annual Iranian Mathematics conference 10 - 13 September 2005, Yazd, Iran. - 2005. - Pp. 211-212.
25. Shamsudinov, F.M. Integral representations of solutions for one overdetermined system of second-order equations with singular coefficients / F.M. Shamsudinov // Proceedings of the international conference "Nonlocal boundary value problems and related problems of mathematical biology, computer science and physics". - Nalchik: KBSC RAS, 2013. – Pp. 282-286.
26. Shamsuddinov, F.M. On one overdetermined system of second-order differential equations with a strong singularity / F.M. Shamsudinov // Reports of the Adyghe (Cherkessia) International Academy of Sciences. - 2014. -T.16. No. 1. – Pp.40-46.
27. Shamsudinov, F.M. Integral representations of solutions for one overdetermined system of second-order differential equations with singular coefficients / F.M. Shamsudinov // Abstracts of reps. scientific Conf.Modern methods of mathematical physics and their applications with the participation of foreign scientists. – Tashkent, 2015. – Pp.306-308.
28. Shamsuddinov F.M. On one overdetermined system of second-order differential equations with a singular point / F.M. Shamsudinov // Vestn. Volgogr. state un-ta. Ser. mat. physical – 2016. No. 6 (37). – Pp.99-107.
29. Khomiddin, S. On one overdetermined system of second-order differential equations with special coefficients /S. Khomiddin // Bulletin of the branch of Moscow University named after M.V. Lomonosov to the city of Dushanbe. – 2022. – Pp. 32-39.
30. Shamsudinov F.M. On the study of one class of second-order hyperbolic equations and related overdetermined systems of differential equations with singular and supersingular points / F.M. Shamsudinov // Dis...doc. physical – mat. Sci. – Dushanbe, 2019. – 355 p.
31. Shamsudinov, F.M. Integral representations of solutions for one overdetermined system of second-order equations with strong singularity / F.M. Shamsudinov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. 2015., No. 1/4(168). – Pp. 37-42.
32. Shamsudinov, F.M. Integral representations of solutions for one overdetermined second-order system with a singular point / F.M. Shamsudinov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. – 2015. No. 1/1(156). – Pp.60-65.

**ТАДҚИҚИ ЯК СИСТЕМАИ БАРЗИЁДМУАЙЯНШУДАИ МУОДИЛАҲОИ
ДИФФЕРЕНСИАЛӢ БО ҲОСИЛАҲОИ ХУСУСИИ ТАРТИБИ ДУЮМИ
КОЭФФИТСИЕНТҲОИ МАХСУСДОШТА**

Дар мақола системаи се муодилаи дифференциалӣ баррасӣ карда шудааст, ки як муодилаи гиперболикии ҳатти тартиби дуумро бо нуқтаи суперсингулярӣ ва ду муодилаи дифференсиалии тартиби якумро бо ҳатҳои сингулярӣ дар бар мегирад. Ин муодилаҳо бо функсияи номаълум бо ҳам алоқаманданд. Бо истифода аз схемаи дар қорҳои Н. Раҷабов таҳияшуда, муодилаи якуми системаро дар шакли ду оператори дифференсиалии тартиби якум навишта, функсияи нави номаълумро дохил менамоем ва масъаларо ба ҳалли ду муодилаи дифференсиалии тартиби якуми ҷудошуда меорем. Бо ҳалли пайдарпайи ин муодилаҳо, мо ҳалли муодилаи дифференсиалии тартиби дуумро бо ёрии ду функсияи ихтиёрӣ аз як тағйиребандаи мустақил пайдо мекунем. Сипас муодилаҳои дуум ва сеюми системаро дар шакли махсус менависем, ки ҳисобкуниҳои минбаъдаро осон мекунанд. Акнун ҳалли муодилаи аввалро дар муодилаҳои табдилдодашудаи дуум ва сеюм гузошта, пас аз баъзе ҳисобкуниҳо ва содакунӣ барои муайян кардани функсияи аввалаи ихтиёрӣ, муодилаи дифференсиалии одии тартиби якумро ҳосил мекунем. Барои муайян кардани функсияи ихтиёрӣ дуум, мо шарти ҳамчоягиро нисбат ба коэффитсиентҳо ва қисмҳои рост ба даст меорем. Аз ин шарти ҳамчоягӣ ҳангоми гузариши лимитии мувофиқ функсияи дууми ихтиёрӣ муайян карда мешавад.

Калидвожаҳо: системаи барзиёдмуайяншуда, бисёршаклаи ҳал, росткунча, коэффитсиенти сингулярӣ, ҳосиятҳои ҳал, масъала бо шарҳи аввала.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ ПЕРЕОПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА, СОДЕРЖАЩЕЙ
ОСОБЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ**

В работе рассматривается система из трёх дифференциальных уравнений, которая содержит одно линейное гиперболическое уравнение второго порядка с суперсингулярной точкой и два дифференциальных уравнений первого порядка с сингулярными линиями. Эти уравнения связаны

между собой при помощи неизвестной функции. Используя схему, разработанную в работах Раджабова Н., первое уравнение рассматриваемой системы представим в виде двух дифференциальных операторов первого порядка и вводя новую неизвестную функцию, задачу сведем к решению двух расщепленных дифференциальных уравнений первого порядка. Последовательно, решая эти уравнения, находим решение дифференциального уравнения второго порядка при помощи двух произвольных функций одного независимого переменного. Далее, второе и третье уравнение изучаемой системы представим в специальном виде, которой упрощает дальнейшие вычисления. Теперь решение первого уравнения, подставляя во второе и третье преобразованных уравнений, после некоторых вычислений и упрощений для определения первой произвольной функции, получим обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка. Для определения второй произвольной функции, получим совместное условие относительно коэффициентов и правых частей. Из этой условий совместности при соответствующем предельном переходе определим вторую произвольную функцию.

Ключевые слова: переопределённая система, многообразие решений, прямоугольник, сингулярный коэффициент, свойства решений, задача с начальными данными.

RESEARCH OF ONE OVERDETERMINED SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH SECOND ORDER PARTIAL DERIVATIVES CONTAINING SPECIAL COEFFICIENTS

The paper considers a system of three differential equations, which contains one second-order linear hyperbolic equation with a supersingular point and two first-order differential equations with a singular lines. These equations are interconnected by an unknown function. Using the scheme developed in the works of N. Radzhabov, we present the first equation of the system (1) in the form of two first-order differential operators and introducing a new unknown function, we reduce the problem to solving two split differential equations of the first order. Sequentially solving these equations, we find a solution to a second-order differential equation using two arbitrary functions of one independent variable. Further, the second and third equations of the system (1) are presented in a special form, which simplifies further calculations. Now, substituting the solution of the first equation into the second and third transformed equations, after some calculations and simplifications to determine the first arbitrary function, we obtain an ordinary differential equation of the first order. And to determine the second arbitrary function, we obtain a joint condition with respect to the coefficients and the right parts. From this compatibility condition, with the corresponding limit transition, we define a second arbitrary function.

Keywords: overdetermined system, manifolds of solutions, rectangle, singular coefficients, properties of solutions, a problem with initial data.

Маълумот дар бораи муаллиф: Сайфуллои Ҳомиддин – Академияи идоракунии давлатии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муаллими калони кафедраи илмҳои табиатшиносӣ ва риёзӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, С. Носиров, 33. **Телефон:** 985520999. **E-mail:** smpk1992@mail.ru.

Сведения об авторе: Сайфуллои Ҳомиддин-Академия государственного управления при Президенте Республики Таджикистан, старший преподаватель кафедры естественно-научных дисциплин. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ул. С. Носирова, 33. **Тел.:** 985 52 09 99. **E-mail:** smpk1992@mail.ru

Information about the author: Saifulloei Khomiddin - Academy of Public Administration under the President of the Republic of Tajikistan, senior lecturer of the department of natural sciences. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, st. S. Nosirova 33. **Phone.:** 985 52 09 99. **E-mail:** smpk1992@mail.ru.

UDC: 006.251.23

**STUDY AND REVIEW OF POVERTY MEASUREMENT METHODS AND
PRESENTING A NEW POVERTY THRESHOLD MODEL**

Pejman Jafari

Tajik National University

Introduction. The issue of poverty has been a longstanding concern for governments, organizations, and individuals around the world. In order to effectively address and alleviate poverty, it is essential to have accurate and reliable methods for measuring and assessing the extent of poverty within a given population. This is where poverty plan measuring methods come into play. These methods are crucial for identifying the prevalence of poverty, understanding its root causes, and evaluating the impact of poverty alleviation initiatives. In this paper, we will explore the various methods used to measure poverty, including income-based measures, multidimensional approaches, and qualitative assessments. By gaining a deeper understanding of poverty plan measuring methods, we can better inform policy decisions, allocate resources effectively, and ultimately work towards creating a more equitable and just society. One of the most commonly used methods for measuring poverty is income-based measures, which focus on assessing the level of income or consumption within a population. This approach typically involves setting a poverty line, which represents the minimum level of income or consumption required to meet basic needs. Individuals or households with incomes or consumption levels below this threshold are considered to be living in poverty. While income-based measures provide valuable insights into the economic aspects of poverty, they have limitations in capturing the full extent of deprivation and vulnerability experienced by individuals and communities. As a result, multidimensional approaches to measuring poverty have gained traction in recent years. These approaches take into account a range of factors beyond income, such as access to education, healthcare, housing, and social support networks. By considering multiple dimensions of well-being, multidimensional measures provide a more comprehensive understanding of poverty and enable policymakers to design more targeted and effective interventions. In addition to quantitative measures, qualitative assessments play a critical role in capturing the lived experiences of those affected by poverty. Qualitative methods, such as participatory research and community-based assessments, allow for the collection of rich, context-specific data that can inform the development of inclusive and responsive poverty reduction strategies. By incorporating the voices and perspectives of marginalized populations, qualitative assessments help to ensure that anti-poverty initiatives are grounded in the realities and priorities of those they aim to serve. It is important to recognize that no single measure can fully capture the complexity of poverty, and different measurement methods may be more suitable for different contexts and goals. For example, when designing poverty reduction programs in urban areas, it may be more relevant to use income-based measures to target specific income thresholds, whereas in rural communities, multidimensional approaches that consider access to basic services and infrastructure may be more appropriate.

Ultimately, the selection of measurement methods should be guided by a commitment to equity, inclusivity, and social justice. By integrating diverse measurement approaches and prioritizing community participation and empowerment, we can work towards more holistic and sustainable solutions to poverty. With a nuanced understanding of poverty plan measuring methods, we can better advocate for policies and interventions that address the root causes of poverty and create opportunities for all individuals to thrive.

Previous studies of poverty. The review of poverty studies in Iran shows that these studies have used common methods to measure poverty, some of the most important of which are mentioned by Pazhoyan (1994) had presented a method for the support criterion and estimation of the poverty line depending on the parasitic law and internal nutrition values.

The support criterion is different in urban and rural areas. In order to define the poverty line, *Pazhoyan* defines the minimum required amount based on the nutritional needs of energy and protein, and states that people who do not achieve this minimum and necessary nutrition should be supported, and in the following, a method for support and the amount of aid should be provided [1]. *Khodadad Kashi* (1997) used the *SEN* index to measure the level of poverty at the national and regional level (provincial), has been investigated in the period between 1985 and 1991. The results of Khodadad Kashi's studies indicate that poverty is greater in urban communities than in rural communities [2]. *Mahmoudi* (2002) had deal with the measurement of poverty in Iran using new poverty measurement techniques. The results of this research show that poverty has increased throughout the country and rural areas during this period; but despite the increase in poverty in urban areas, the condition of the poorest in this sector has improved, in other words, the implementation of the economic adjustment policy in the country has led to an increase in absolute poverty [3]. *Arab Mazar* (2004) have proposed the application of a new methodology for the equalization index by using the *FGT* group indicators to analyze the intensity of poverty in rural households according to the occupation of the head and the geographical area of residence of the head of the household and concluded that the unemployed and disabled people suffer from the intensity and depth of poverty, and self-employed workers also have an unfavorable situation. They also concluded that from the geographical point of view, the eastern regions of the country have the worst situation in terms of poverty and the southern regions have the best situation in terms of poverty in rural areas [4]. *Betti Gianni* (2004) present the nature of poverty based on the fuzzy logic method and dynamic analysis of poverty, with a theoretical and practical examination of the phenomenon of poverty and well-being. This article was presented based on previous methods and works by these authors, Cheli (1995), Cheli and Benny (1999) and Jelli and Lacey (2002) provide an extension of dynamic poverty in England for the period 1991 to 1997 [5]. *Tarazkar* (2004) estimated various indicators in the field of social welfare and distribution of income and poverty for rural and urban households in Fars, Isfahan and Semnan provinces using the data of 2000. The reported results indicate that the unfair distribution of income and the poverty gap are more in rural areas than in urban areas, and the welfare level of rural areas is lower. Another indicator used in this study was the *SEN* poverty index. The results of using this index also confirm the existence of a greater rural poverty gap than the urban areas of each province [6]. *Khalidi* (2005) evaluated the absolute and relative poverty line for urban and rural areas during the years 1996-2003. The results of this research indicate that with the increase in prices, the absolute and relative poverty line values are on the upward trend. The amount of relative and absolute poverty line is higher in urban areas than in rural areas [7]. *Bagheri* (2006) used the *SST* index to measure poverty. This index measures the intensity of poverty by considering the number of poor, the depth of poverty and inequality between the poor people and allows us to examine poverty from three aspects.

- Is the number of poor people many?
- Have the poor people become poorer?
 - And is the distribution of inequality greater among the poor people?

The intensity of poverty in Iran has been estimated during the years 2012 and 2013. In this article, through the *SST* index, using statistical data from the Household Income and Expenditure Plan of Iran Statistics Center and considering the absolute poverty line and the amount of energy received (2300 calories) for urban and rural areas, the percentage change over two years is calculated with compared to each other. In order to determine the statistical reliability of the estimation made using the bootstrap method, the confidence interval of the desired index was calculated which shows that the intensity of poverty in these two years was greater in urban areas than in rural areas [8]. *Motevaseli* (2008) had estimated the poverty line income criterion by using time series data between 1982 and 1997 and introducing

appropriate utility function (Stone-Gray utility function) and demand function. In this research, using household budget statistics and price index and income distribution, the depth and extent of poverty in urban areas have been estimated [9]. *Najafi* (2008) had estimated the food and non-food poverty line of urban, rural and the whole country for 2007. The results indicate that poverty in the rural sector has greater dimensions and considers the size of the household and the burden of dependency among the most important factors of poverty [10]. *Raghfar* (2008) measured poverty in urban and rural areas of Iran during the year's 1989 to 2004 using household income and expenditure statistics. Results used the poverty line indicators, *Orshansky*, *Foster*, *Greer* and *Torik* indicate that the level of poverty indicators in rural areas is higher than in urban areas and also the general trend of indicators in both urban and rural poverty has been downward in the mentioned period [11]. *Njong* (2008) examined and measured the multidimensional poverty index with different techniques in Cameroon for the year 2001. In this study, the fuzzy logic method is used for weighting the flower making process and the measurement of the section, along with two common statistical methods. The results bring more clarity and ambiguity for the fuzzy logic method than the two common methods [12]. *Khodadad Kashi* (2009) had calculated poverty indicators in Iran in different ways with special emphasis on nutritional approach. The percentage of poor people, poverty gap and *SEN* index are among the indicators used in this article. The findings of this article indicate that the set of economic developments and support measures have led to a decrease in absolute poverty and an increase in relative poverty in Iran. In addition, by comparing different methods of measuring poverty, they stated that the size of poverty and the percentage of poor people in the society is a function of the attitude towards the concept of poverty, and they believe that the reality of Iran's economy confirms that in the field of poverty reduction policies, the absolute concept of poverty is appropriate. It is the most important concept. A noteworthy point in Iran's poverty research is the lack of direct use of fuzzy logic to estimate and measure poverty [13]. *Giordani* (2010) compared poverty indicators such as the poverty line, the poverty gap, my index and my generalized index (*Giroji* and *Gerstri*) measure poverty at brain levels and with their estimated values, with the conventional approach and measure the fuzzy approaches of poverty. This article has used the standard poverty line method (*SPM*) to calculate the poverty line in the conventional method, then using fuzzy logic, it has been divided into four parts: poor, rich, relatively poor, and near poverty, and they have been reported [14]. *Besma* (2010) described fuzzy logic as a useful tool for analyzing poverty and deprivation, which has the ability to express the degree of "poverty". He criticizes the two-part approach of the common methods of poverty. For poverty, he states the membership function and the selection rule of the fuzzy set, and with the fuzzy division, poverty is divided into three levels: weak, moderate, and severe, according to the urban and rural areas of Tunisia, and in 1990, the size. The results indicate that poverty is widespread in rural areas unlike industrial areas, extreme poverty prevails, and in addition, extreme poverty is more visible in illiterate people, farm workers and interior areas of the country [15].

Poverty measurement methods. At the first we should ask ourselves; why we measure poverty? It should be said in response; Poverty measures are used first and foremost to monitor social and economic conditions and to provide benchmarks of progress or failure. A second important use for poverty measures is descriptive. Poverty statistics play critical roles in summarizing complex social and economic conditions that inform conversations around economic and social priorities.

Some of poverty measurement methods include; poverty ratio, poverty gap, poverty gap squared, Watts index, Headcount measure, Exit Time, Sen Index, Atkinson Measuring method,

- *poverty ratio*

The poverty ratio is defined and calculated as shows the ratio of the number of poor people to the total population. In this formula is the number of poor people [16].

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U(x_i < x_p)$$

Where,
$$P = \sum_{i=1}^n U(x_i < x_p)$$

- The **poverty gap** (income-gap ratio or I)

The ratio and percentage of poor households, although it describes an aspect of poverty, it cannot show the distribution of the poor below the poverty line, for example, if two societies have a poverty ratio of 20%, while in the society A are close to the poverty line, and in society B, all are very poor and far from the poverty line, according to the poverty ratio, their index is the same. Poverty gap (severity) index is a measure that shows the amount of income deficiency of each poor person, which is the percentage of the poverty line [17].

$$PG = H * \left(1 - \frac{\mu_z}{z}\right)$$

Where,
$$I = \left(1 - \frac{\mu_z}{z}\right)$$

- **Poverty gap squared**

The squared poverty gap index attributes more weight to the poorest among the poor.

$$PG2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{x_i}{z}\right)^2 I(x_i < z) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{x_i}{z}\right)^2$$

Where,
$$\left(1 - \frac{x_i}{z}\right)^2 = \underbrace{\left(1 - \frac{x_i}{z}\right)}_{(z-x_i)/z} * \left(1 - \frac{x_i}{z}\right)$$

The contribution of the i^{th} individual to PG2 is larger the poorer she is / that is the larger is her poverty gap $(z-x_i)/z$ [18].

- **Watts** index

A simple poverty measure that satisfies the transfer axiom was first put forward by Watts (1968), who argued for the following measure;

$$W_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^M [\ln(z) - \ln(y_i)] I(z, y_i) n_i$$

When income is calculated in adult equivalent terms, the household size variable n_i should be replaced with the adult equivalent size a_i . If a given number is larger than another, then the logarithm of the first will also be larger than the logarithm of the second. But the logarithmic transformation is nonlinear, i.e., the ratio of the two numbers will be larger than the ratio of their logarithms [19].

- Headcount measure

Dalton (1920) proposed the headcount is the simplest and best known poverty measure for the first time. It identifies the share of a population whose income is less than the poverty line. It is, not surprisingly, the most commonly calculated poverty measure. The measure literally counts heads, allowing policymakers and researchers to track the most immediate dimension of the human scale of poverty. The headcount index is simply the sample average of the variable $I(y, z)$, weighted by the number of people in each household n_i . The measure is calculated by first counting the number of poor individuals.

$$G = \sum_{i=1}^N I(y, z) n_i$$

Where, $I(y, z) = 1$ if $y_i \leq z$

And $I(y, z) = 0$ if $y_i > z$

The headcount is calculated by comparing the income y_i of each household to the poverty line z . (The index $i = 1 \dots N$, where N is the total number of households in the sample). Concretely, an indicator variable is constructed for each household, taking the value 1 when income falls below the poverty line or 0 if income is greater.

$$H = \frac{G}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(y_i < z)$$

Note that total household size, n , is used even where income and the poverty lines are designated in terms of adult equivalents [20].

- Exit time

The average exit time, introduced in **Morduch** (1998), is based on a similar sort of hypothetical question. The underlying assumption is as unrealistic as that under the poverty gap, but the measure nevertheless can fruitfully frame discussions of poverty. The measure is based around the number of years that it would take poor households to grow out of poverty given a hypothetical, steady growth of income. Hypothetical exit times are simple to calculate. If the assumed growth rate of income is g percent per year, an individual whose income starts at y_i will take T years to exit, where T solves this equation [21].

$$z = y_i(1 + g)^T$$

If the hypothetical exit time, T_i , for each poor household is averaged over the population below the poverty line, the average exit time is;

$$A = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^M \frac{\ln(z / y_i)}{g} I(z, y_i) n_i = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^M T_i n_i$$

- **Sen** Index

Sen (1976) has proposed an index that sought to combine the effects of the number of poor, the depth of their poverty, and the distribution of poverty within the group. The index is given by;

$$P_s = P_0(1 - (1 - G^P) \frac{\mu^P}{z})$$

Where P_0 is the headcount index, μ^P is the mean income (or expenditure) of the poor, and G^P is the Gini coefficient of inequality among the poor.

The Sen Index can also be written as the average of the headcount and poverty gap measures, weighted by the Gini coefficient of the poor, giving;

$$P_s = P_0 G^P + P_1 (1 - G^P)$$

Osberg and **Xu** (2002) developed the model as follow;

$$P_s = P_0 P_1^P (1 + G^{PP})$$

Where G^{PP} is the Gini coefficient of the poverty gap ratios of only the poor and P_1^P is the poverty gap index calculated over poor individuals only [22].

- **Atkinson** measuring method

Following Atkinson (1987), one can characterize a general class of additive measures, encompassing W, the FGT (**Foster, Greer** and **Thorbecke**) class of measures, and some other measures (such as the second measure proposed by **Clark, Hemming** and **Ulph**, 1981), as taking the following form;

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(z, y_i)$$

Where, $p(z, y_i)$ is the individual poverty measure, taking the value zero for the non-poor ($y_i > z$) and some positive number for the poor, the value of which is a function of both the poverty line and the individual living standard, non-decreasing in the former and non-increasing in the latter [23].

- **Foster, Greer, Torback**

The Foster, Greer and Torback (FGT) index shows the depth and gap of poverty, where poverty is a function of the poverty gap ratio. In addition to the merits of the age index, this index also has the property of decomposition. Foster Greer and Touric index, which is sometimes denoted by P, is obtained from the following relationship [24];

$$P_\alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^H \left(\frac{Y_p - Y_i}{Y_p} \right)^\alpha$$

Where Y_i is income i^{th} poor people, Y_p is poverty line and N is total people of society.

- **Santos and Villatoro**

The construction of an MPI that uses the Alkire-Foster methodology is based on the M0 measure, also called the adjusted headcount ratio, proposed by Alkire and Foster (2011). The following brief description is taken from Santos and Villatoro (2018).

Let $x_{ij} \in [0, 1]$ be the achievement of each person $i = 1, \dots, n$ in each indicator $j = 1, \dots, d$, and let z_j be the deprivation cutoff of indicator j . A person is deprived in this indicator if her achievement is below the deprivation cutoff. Formally, deprivation is defined as $g_{ij}^0 = 1$ when $x_{ij} < z_j$ and $g_{ij}^0 = 0$, otherwise. Then, the deprivation of each person is weighted by the indicator's weight, given by w_j , such that $\sum_j w_j = 1$. From this, a deprivation score is computed for each person, defined as the weighted sum of deprivations, $c_i = \sum_{j=1}^d w_j g_{ij}^0$. Then, with this score the poor are identified using a second cutoff, the poverty cutoff, denoted by k , which represents the proportion of minimum deprivation a person, must experience in order to be identified as poor. That is, someone is poor when $c_i \geq k$.

The deprivations of those not identified as poor are then ignored; technically, they are censored. Formally, censored deprivations are defined as $g^0(k) = g_{ij}^0$ when $c_i \geq k$ and $g_{ij}^0(k) = 0$, otherwise. Analogously, the censored deprivation score is defined as $c_i(k) = \sum_{j=1}^d w_j g_{ij}^0(k)$.

Once the multidimensionality poor have been identified, the M0 measure combines two fundamental sub indices: the proportion of people who are multidimensionality poor (also called "poverty incidence") and their poverty intensity or the average (weighted) deprivations among the poor. Formally, the proportion of poor people is given by $H = g/n$, where g is the number of people identified as poor. Poverty intensity is given by $A = \sum_{i=1}^n c_i(k) / g$. MPI, as M_0 , is the product of these two sub-indices;

$$MPI = M_0 = H * A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d w_j g_{ij}^0(k)$$

By adjusting the incidence of multidimensional poverty by the intensity, M0 satisfies dimensional monotonicity (Alkire and Foster, 2011a): if a poor person becomes deprived in an additional indicator, M0 will increase [25].

- **Percentiles of the income distribution**

An income percentile is a statistical tool that ranks an individual's income level compared to all other individuals in the same group or population. It shows what percentage of the population that individual's income surpasses. For example, if someone is in the 70th income percentile, it means their income is higher than 70% of the population. This measure is often

used in economic studies and reports to analyze income distribution and inequality. The following formula is used to calculate the income percentile.

$$IP=(R/T)*100$$

Where, IP is the income percentile (%), R is the rank of individual's income in the income distribution and T is the total number of individuals in the income distribution [26].

- The **Cost method** (CBN), **Food ratio**

The first step in measurement of poverty is to determine the level at which consumption of or access to goods and services is considered to be “basic” or “minimally acceptable.” At that point, a line is drawn and individuals or households below the line are classified as poor. The CBN method assembles a basket of goods and services that are deemed to meet a minimal standard of living, appropriate to the society in which the households live. Critics note that the choice of goods in the “basic” basket is seen as arbitrary and that the price data needed to calculate the poverty line are often incomplete. Ravallion [27] and Sen [28] identify two broad categories of methods:

The Cost of Basic needs approach (CBN) define the minimum nutritional requirements of a poor person and determine a food basket or bundle that can provide this minimum requirement. The cost of buying the food bundle is a food poverty line (fpl).

Choose an operational definition of a poor person's basic non-food needs that will allow estimating their cost directly or indirectly. Use this non-food basic needs cost to adjust fpl upward into a total poverty line (tpl).

Compare fpl and tpl against some metric, e.g. distribution of income or expenditure per person. The proportion of persons whose incomes (expenditures) fall below fpl is an estimate of food poverty incidence. Proportion of persons whose incomes (expenditures) fall below is an estimate of absolute poverty incidence.

$$fpl = \frac{T}{T'} \sum_1^f q_i p_i$$

Where, $q_1 \dots, q_f$ denote the quantities of the f items in the food basket that supply $p_1 \dots, p_f$ be the prices of the food items.

$$tpl = fpl + nfpl$$

Where, $nfpl$ is non-food-poverty-index.

- The **Food Energy Intake** approach (FEI)

Alternatively, the FEI approach determines the income or consumption level at which a household is typically just sufficient for energy needs. This approach eliminates the need for any price data, as well as any arbitrariness with respect to non-food consumption. FEI method relies on a regression of calorie intakes on a welfare indicator like per capita expenditures.

The first version of calculation consists of calculating the average level of total expenditures of those individuals whose food expenditures are equal to the food poverty line. The resulting total poverty line is therefore that level of expenditures. Let us call this way **food-based total poverty line (FBTPL)**.

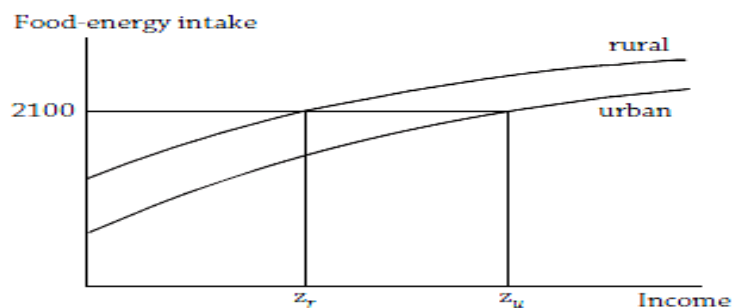
The second version of calculation consists of determining the average level of non-food expenditures of those individuals whose total expenditures are equal to the food poverty line. The resulting total poverty line is therefore the sum of the food poverty line and non-food average expenditures of those individuals. Let us call this method the **total-based total poverty line (TBTPL)**.

Ravallion and **Bidani** (1994), start from estimating the food share of total expenditures s as a **linear** function of the logarithm of total spending y (i.e. food plus non-food) normalized to the cost of the food poverty line z^{FEI} (calculated as in FEI), a constant α and an error term u :

$$s = \alpha + \beta \ln\left(\frac{y}{z^{FEI}}\right) + u$$

Individuals with a level of total expenditures y equal to the food poverty line z^{FEI} (i.e. $y = z^{FEI}$) will have an average food share equal to $\alpha < 1$. Therefore, their average non-food share of expenditure will be equal to $(1-\alpha)$. What we are doing exactly is *to look at the average level of non-food expenditures of those individuals with total expenditures equal to the food poverty line*. The cost of basic needs, therefore, will be the cost of the food poverty line scaled up by $(1-\alpha)$, i.e. the average non-food share of expenditure, i.e. $z^{CBN} = z^{FEI} (1 + (1-\alpha)) = z^{FEI} (2-\alpha)$. In both cases, the food poverty line is determined as in FEI. With FBPTL, we look at **total expenditures** of those individuals having **food expenditures** equal to the food poverty line. With TBPTL, we look at **non-food expenditures** of those individuals having **total expenditures** equal to the food poverty line. Figure 1 shows differences between rural and urban Income / Expenditures in FEI method.

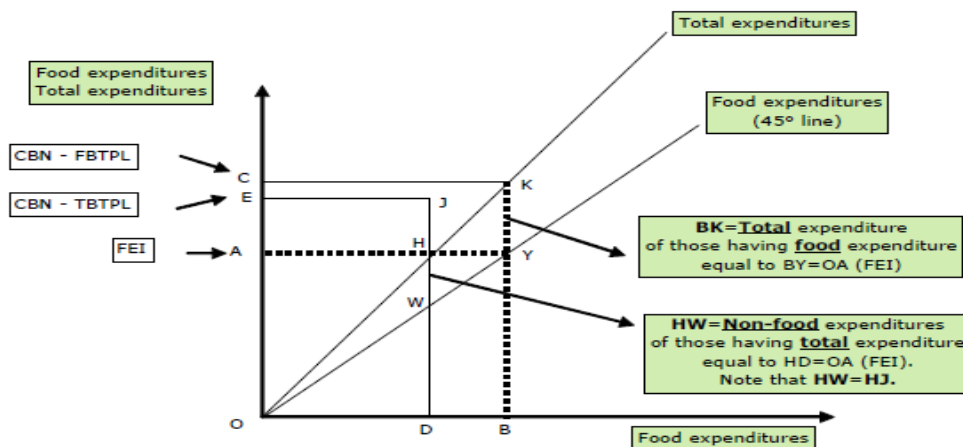
Figure1. FEI



To get the poverty line by CBN in the TBPTL version, we need to look at the **level of non-food expenditures of those having total expenditures equal to FEI poverty line**. This latter level is **HD** and the non-food expenditures are equal to the segment **HW**. Now, adding **HW** to the FEI poverty line, which gives **HJ=HW**, we can get the TBPTL.

By construction, as total expenditures are never lower than food expenditures, **FBTPL is always above TBPTL and both are above FEI**. By construction, therefore, we always have: $FEI \leq TBPTL \leq FBTPL$. Figure 2 shows these differences [29].

Figure2. FEI, CBN-FBTPL and CBN-TBPTL



The shortcomings of the poverty line. The Poverty Line in its traditional form, like a segment of a geometric line to separate Poverty and wealth or poor and rich, has some problems. Here some of which are mentioned as follow;

- Poverty line as a quantity which has no upper and lower limits. Suppose the poverty line is one hundred monetary units. Now if a household has ninety nine monetary incomes, considered poor and some one else with Onehaundred two, no longer considered poor.
- The difference in the vision, measurement methods ... has created many differences in results of poverty line calculation.
- The poverty line acts like a snapshot of the social condition and does not have the ability to calculate its trend.
- Annual budget and its direction to construction expenses or general (welfare) costs.
- Exchange rate and its changes rate by governments is a hyper problem to compare basic poverty line between countries.
- Most importantly, feeling and belief of being poor because social environment / behaviors even being wealth, assets...
-

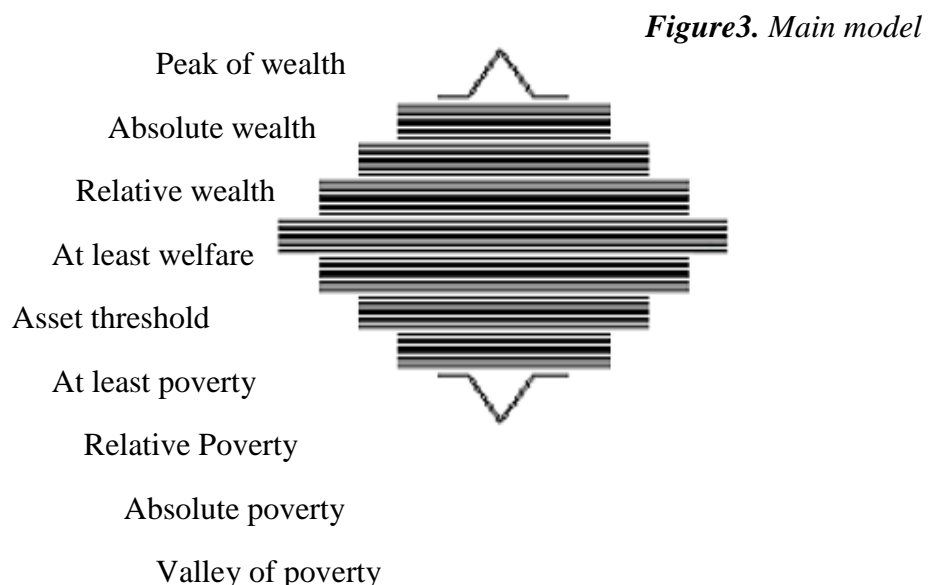
It may not be possible to find a fixed standard and model for the same measurement of poverty in all countries this soon, but it is possible to bring the views closer to each other by presenting more complete theories over time.

In this article the author tries to present a new model as **Poverty Threshold**, which will be explained as follow. All Inputs of the model as independent variables have been previously measured by the author through the Pearson correlation coefficient and all of them have a linear relationship with the poverty line as dependent variable. The statistical test was performed by SPSS software with the following formula;

$$r_p = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Criteria of new Poverty Threshold Model

As a form, suppose that poverty does not have a linear form and each class of poverty has a limitation we call threshold. In the middle of figure find asset threshold, poverty threshold, relative poverty threshold, absolute poverty threshold and valley of poverty downward (figure 3).



Poverty in its essence has parts that must be separated. Poverty should classify in terms of basic needs, income and poverty (wealth), medical needs (health), education, social needs (family formation). This classification needs to attention as follow,

Basic needs: It includes all the basic vital needs of life such as food, clothing, and safe drinking water.

Income and asset (wealth): Wealth is seen as a collection of income and assets, not just income in one period. Income includes fixed income and all types of hidden income such as bank interest, investment interest, dividends, etc. Assets include all movable properties, future claims and future ownership.

Medical needs (health): Health needs include quick access to a variety of medical treatment and health equipments for a healthier life.

Education: Education includes individual status in terms of illiteracy, low literacy, middle school, higher education, access to World Wide Web, and possibility to study.

Social needs (family formation): It includes social acceptance, possibility of forming family, participating in member groups and following desired social groups and feeling safe and secure.

So,

In regards of mentioned basics, poverty as an adjective belongs a person who his rank is less than Asset threshold generally (all criterion). The following situations are considered at the threshold of poverty.

$$1-\prod_{i=1}^n \lambda_m x_n \leq \mu \forall \alpha_{i(1, \dots, 5)} = \text{Poverty in all criterion}$$

Where, λ = impact factor of criterion, x = rank of criterion $i(1, \dots, 5)$ and μ = asset threshold.

Person may have a rank less than Asset threshold or in other criterions. But total rank shows more than at least welfare criterion. So, person is poor (absolute poverty) in that criterion.

$$2-\prod_{i=1}^n \lambda_m x_n \leq \mu \forall \alpha_{i(1, \dots, 5)} = \text{poverty in one or more criterion (absolute poverty)}$$

On the other, person may find a suite rank but it's less than other general indexes or targets (totally or in criterions). So, there is a gap between rank and index / target. Such gaps make a situation which called relative poverty.

$$3-\prod_{i=1}^n \lambda_m x_n \leq \mu_{\text{index, target}} \forall \alpha_{i(1, \dots, 5)} = (\text{relative poverty})$$

It has been tried to create the maximum proximity of the assumed theories on poverty and the poverty line in the above schematic model. The above model will be analyzed in the near future (next article) through the Fuzzy Logic method due to the existence of upper and lower limits for each poverty / wealth class, and a mathematical model will be developed for it.

Conclusions. There are various methods used to measure the poverty line, such as the absolute method, relative method, and subjective method. The absolute method sets a fixed income level below which individuals are considered to be in poverty. The relative method compares individuals' income to the overall distribution of income in the society. The subjective method takes into account individuals' own perceptions of their economic well-being.

Each method has its own strengths and limitations, and the choice of method can significantly impact the measurement of poverty. It is important to consider the implications of using different methods and to ensure that the chosen method accurately reflects the economic reality of those living in poverty.

Additionally, effective communication about poverty line measurement methods is crucial in order to ensure that policymakers, researchers, and the general public understand the

complexities involved in measuring poverty. Clear and transparent communication can help to build consensus and drive informed decision-making in addressing poverty and inequality.

In conclusion, measuring poverty is a complex and multifaceted task, and there are various methods available to assess and quantify poverty. Each method, such as poverty ratio, poverty gap, Watts's index, headcount measure, exit time, Sen Index, Atkinson method, Foster method, Santos method, cost and food ratio, and food energy intake, has its own strengths and limitations.

Comparing these methods requires careful consideration of their underlying assumptions, data requirements, and the specific context in which they are being applied. It is important to recognize that no single method can fully capture the diverse experiences and dimensions of poverty. Instead, a combination of methods may be needed to provide a comprehensive understanding of poverty and guide effective policy responses.

Ultimately, the choice of method should be informed by a deep understanding of the local context and the specific goals of poverty measurement. It is crucial to engage in transparent and inclusive discussions about the strengths and limitations of different methods in order to ensure that poverty measurement accurately reflects the lived experiences of those affected by poverty. By fostering informed dialogue and collaboration, we can work towards more accurate and meaningful approaches to measuring and addressing poverty.

REFERENCES

1. Pajooyan, J. Establishing the Poverty Line/Iran Economic Review, No.1. – 1994.
2. Khodadad, K.F. Measuring poverty in Iran according to social and economic characteristics of householders. Application of Sen Index in Iran/Business Research Journal. Quarterly. No.8. – 1997.
3. Mahmoudi, V. Measuring Poverty in Iran/A quarterly Journal of commercial research. No.24. – 2002.
4. ArabMazar, A., et. all. Estimating the Amount of Poverty and its Severity in Different Occupational Groups of Rural Householders in Iran/Agricultural Economics and Development, 12th year. No.45. – 2004.
5. Betti, G., et. all. A Statistical Model for the Dynamics between two Fuzzy States: theory and an application to poverty analysis/ METRON – International Journal of Statistics. – 2004. Vol. LXII. N. 3. – Pp.301-411.
6. Tarazkar, M.H., et. all. Investigating Social Welfare Criteria and Income distribution and Poverty in Rural and Urban Communities, a case study of Fars, Isfahan and Semnan providences/Agricultural Economics and development, 12th year. 2004.
7. Khaledi, K., et. all. Investigating the Poverty Situation in Urban and Rural areas of Iran/ Agricultural Economics and development, 13th year. – 2005.
8. Bagheri, F., et. all. Measuring the Intensity of Poverty in Iran. The use of the SST Index/ Social Welfare Scientific Research quarterly, 5th year. No. 20. – 2006.
9. Motevaseli, M., et. all. Understanding the Economic Aspects of Poverty Reduction Policies/Journal of Economics, University of Tehran, 2008.
10. Najafi, B. et. All. Estimating the Poverty Line and Examining its Determinants in Rural and Urban Households in Iran/Agricultural Economics and development, 15th year. No. 59. – 2008.
11. Raghfar, H., et. all. Poverty in Iran during the years 1989-2004/Social Welfare Scientific Research quarterly, 6th year. No. 24. – 2008.
12. Njong, A.M., et. all. Characterizing Weights in the Measurement of Multidimensional Poverty: An application of data driven approaches to Cameroonian data/OPHI Working Paper. No. 21. – 2008.
13. Khodadad, K.F., et. all. Measuring Poverty Based on Nutritional Performance of Iranian Households/ Economic Research Paper, 9th Year. No. 3. – 2009.
14. Giordani, P., et. all. Poverty Measures in a Fuzzy Logic Framework/Scientific meetings of Sis, 45th Scientific Meetings of the Italian Statistical Society. – 2010.
15. Besma, B. One-Dimensional Fuzzy Poverty Measure from a Bootstrap Method Perspective/ EuroEconomica Issue, 1, 24. – 2010.
16. Kazemi, M.H., et. all. Measuring Relative Poverty in Iran using Fuzzy Logic/ Quarterly Journal of Economics and Modeling. – Shahid Beheshti University, 2012.
17. Ravallion, M. The Economics of Poverty: History, Measurement, and Policy. – Oxford University Press, 2016.

18. Foster, J.J., et. all. Class of Decomposable Poverty Measures/ *Econometrica*, 1984.52, 3. – Pp. 761-765.
19. Watts, H. An Economic Definition of Poverty, in on Understanding Poverty. Ed. By Daniel Patrick Moynihan. – New York: Basic Books, 1968.
20. Kanbur, R. Measurement and Alleviation of Poverty, with an Application to the Effects of Macroeconomic Adjustment. - IMF staff Papers, 1987. 34 (1).
21. Morduch, J. Growth, Poverty, and Average Exit Time/ *Economics letter*, 1998. 58. – Pp. 385-390
22. Sen, A. Poverty: An Ordinal Approach to Measurement/ *Econometrica*, 1976. 46. – Pp. 437-446,
23. Atkinson, A. On the Measurement of Poverty/ *Econometrica*, Hemming and U1ph, 1981. 55. – Pp.749-764.
24. Foster, J., et. all. FGT-The Poverty Measures: 25 Years later/ *The Journal Economic Inequality*. 2010. 8(4). – Pp.491-524,
25. Maria, E.S. Challenges in designing national multidimensional poverty measures, United Nation/Printed at United Nations, Santiago. – ECLAC-Statistics Series. No. 100. 2019.
26. Thomas B. E. What if we're Looking at Inequality the Wrong Way? / *The New York Times* <http://opinionator.blogs.nytimes.com/2013/06/26/what-if-were-looking-at-inequality-the-wrong-way/>, 2013.
27. Ravallion, M. Poverty Comparisons: A Guide to Concepts and Methods/LSMS Working Paper Number, 88. – 1992. – P.4.
28. Carvalho, S., et. all. Indicators for Monitoring Poverty Reduction/World Bank Discussion Papers. No. 254. – 1995.
29. Ravallion, M. The Economics of Poverty. History, Measurement and Policy/ Georgetown University. – OXFORD Press, 2016.

ОМУЗИШ ВА БАРАССИИ УСУЛҶОИ ЧЕНКУНИИ КАМБИЗОАТӢ ВА МУАРРИФИИ МОДЕЛИ НАВИ ҲАДДИ АҚАЛЛИ КАМБИЗОАТӢ

Дар ин мақола 15 мақолаи қаблӣ (11 аз Эрон) дар бораи камбизоатӣ, воридоти андозагирӣ ва усулҳои андозагирии фақр аз соли 1994 то 2010 мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Сипас, ба таври мухтасар, усулҳои ҳисоб ва моделҳои андозагирии камбизоатӣ, нишондиҳандаҳои андозагирӣ, аз қабيلي индекси камбизоатӣ, холигии камбизоатӣ, квадрати фосилаи камбизоатӣ, индекси Ватт, ченаки шумораи кормандон, вақти баромадан, индекси Сен, усули ченкунии Аткинсон, усули Фостер, усули Сантос, Фоизи тақсимои даромад, усули хароҷот, таносуби озуқаворӣ, истеъмоли энергияи озуқаворӣ тафтиш карда шуд. Дар поён камбудихоӣ моделу нишондиҳандаҳо ва усулҳо мухтасар баён карда мешаванд. Аз сабаби камбудихоӣ дар болоовардашуда модели нав таҳти унвони ҳадди ақалли камбизоатӣ пешниҳод карда шуд. Саҳмияҳои модел, инчунин, санҷишҳои омории қаблӣ дар робита бо муносибати онҳо бо камбизоатӣ аз рӯи коэффиенти коррелятсияи Пирсон ҷорӣ карда шудаанд. Дар охир, хатти камбизоатӣ, аҳамияти андозагирӣ ва сабабҳои гуногунии усулҳо ба таври мухтасар баррасӣ карда мешаванд.

Калидвожаҳо: Мантиқи норавшан, барномасозии хатӣ, таносуби камбизоатӣ, холигии камбизоатӣ, CBN, FPL, TPL, FEI, FBTP, TBTP

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ БЕДНОСТИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НОВОЙ МОДЕЛИ ПОРОГА БЕДНОСТИ

В этой статье были рассмотрены 15 предыдущих статей (11 из Ирана) о бедности, факторах измерения и методах измерения бедности с 1994 по 2010 год. Затем кратко о методах расчета и моделях измерения бедности, индексах измерения, таких как индекс бедности, разрыв бедности, квадрат разрыва бедности, индекс Уотса, показатель численности персонала, время выхода, индекс Сена, метод измерения Аткинсона, метод Фостера, метод Сантоса, были исследованы процент или распределения доходов, метод затрат, соотношение продуктов питания, потребление энергии. Ниже кратко излагаются недостатки моделей, показателей и методов. Из-за вышеуказанных недостатков была представлена новая модель под названием «Порог бедности». Были введены входные данные модели, а также предыдущие статистические тесты в отношении их связи с бедностью с помощью коэффициента корреляции Пирсона. В конце кратко обсуждается черта бедности, важность измерения и причины разнообразия методов.

Ключевые слова: нечеткая логика, линейное программирование, уровень бедности, разрыв бедности, CBN, FPL, TPL, FEI, FBTP, TBTP

STUDY AND REVIEW OF POVERTY MEASUREMENT METHODS AND PRESENTING A NEW POVERTY THRESHOLD MODEL

In this article, 15 previous articles (11 from Iran) about poverty, measurement inputs and poverty measurement methods from 1994 to 2010 have been examined. Then, briefly, the calculation methods and

models of poverty measurement, measurement indices, such as poverty index, poverty gap, poverty gap square, Watts index, headcount measure, Exit time, Sen index, Atkinson measuring method, Foster method, Santos method, Percentiles of the income distribution, cost method, Food ratio, Food Energy Intake has been investigated. In the following, the shortcomings of the models, indicators and methods are briefly stated. Due to the above shortcomings, a new model has been presented under the title of poverty threshold. The inputs of the model have been introduced as well as previous statistical tests in relation to their relationship with poverty by Pearson's correlation coefficient. At the end, the poverty line, the importance of measurement and the reasons for the variety of methods are briefly discussed.

Key words: Fuzzy Logic, Linear Programming, Poverty ratio, Poverty gap, CBN, FPL, TPL, FEI, FBTPPL, TBTPPL

Маълумот дар бораи муаллиф: Пежмон Джафари - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, докторант. **Сурога:** 734025, ш. Душанбе, Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992)001016655. **E-mail:** jafaripejman3@gmail.com.

Сведения об авторе: Пежман Джафари-Таджикский национальный университет, докторант. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992)001016655. **E-mail:** jafaripejman3@gmail.com.

Information about the author: Pejman Jafari – Tajik National University, post doctoral. **Address:** 734025, Dushanbe, Tajikistan, Rudaki Ave.,17. **Phone:** (+992)001016655. **E-mail:** jafaripejman3@gmail.com.

ФИЗИКА

УДК 534.16: 535.341

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН В ПЛЕНКАХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Салихов Т.Х., Абдурахманов А.А.

НИИ Таджикского национального университета

Особенности формирования стационарного и нестационарного температурного поля при облучении непрерывным или другим видом импульса ионного пучка исследованы достаточно подробно (см., например, [1-12]). Между тем, как было показано в [13-17], возможны случаи, когда падающий пучок ионов изменяется по гармоническому закону с частотой ω . Очевидно, что и в этом случае становится важным учет температурной зависимости теплофизических параметров исследуемой среды. Отметим, что подобные работы выполнены по фото акустике [18-27], где показано, что при гармонически модулированном падающем свете в среде возникают колебания температуры, как на частоте ω , так и на удвоенной частоте (вторая гармоника). Целью настоящей работы является создание линейной и нелинейной теории генерации тепловых волн в пленках диэлектриков посредством гармонически модулированного ионного пучка. Считается, что облучение образца осуществляется в воздушной среде. Учитывая, что длина пробега ионов в пленке R меньше её толщины L , для описания стационарного и нестационарного полей температуры будем исходить из следующей системы нелинейных уравнений теплопроводности:

$$C_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} [\kappa_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial x}] + \frac{EJ}{2RZe} \Theta(R-x)(1 + e^{i\omega t}), \quad 0 \leq x \leq R, \quad (1)$$

$$C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} [\kappa_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial x}], \quad R \leq x \leq L, \quad (2)$$

где C , κ , J , Z , E - теплоемкость единицы объема, коэффициент теплопроводности, плотность тока пучка, заряд иона в единицах заряда электрона, начальная энергия ионов, соответственно, $\Theta(R-x)$ - единичная функция Хэви-сайда. В (1)-(2) для общности рассматриваемой задачи считается что, теплофизические величины соответствующих слоев не являются идентичными.

Четыре граничных условия, необходимых для решения системы (1)-(2), имеют вид [3]

$$\kappa_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1(T_1 - T_0) + A_1 \sigma_0(T_1^4 - T_0^4), \quad (3)$$

$$-\kappa_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_2(T_2 - T_0) + A_2 \sigma_0(T_2^4 - T_0^4), \quad (4)$$

$$T_1(x) \Big|_{x=R} = T_2(x) \Big|_{x=R}, \quad \kappa_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=R} = \kappa_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=R}. \quad (5)$$

В (3) и (4) T_0 - начальная температура образца, h_i - коэффициент теплоотдачи поверхности образца, а A_i - степень черноты образца [29-31]. Как и раньше [8-12,24,25], температурную зависимость теплофизических величин примем в линейной форме, т.е. в виде

$$\begin{aligned}\kappa_i(T_i) &= \kappa_i^{(0)}(T_0)[1 + \delta_{2(i)}T_i], \quad A_i(T_i) = A_i^{(0)}(T_0)[1 + \delta_{3(i)}T_i], \\ C_i(T_i) &= C_i^{(0)}(T_0)[1 + \delta_{(i)}T_i] \quad h_i(T_i) = h_i^{(0)}(T_0)[1 + \delta_{4(i)}T_i],\end{aligned}$$

где

$$\delta_{(i)} = \frac{1}{C_i^{(0)}(T_0)} \frac{\partial C_i}{\partial T}, \quad \delta_{2(i)} = \frac{1}{\kappa_i^{(0)}(T_0)} \frac{\partial \kappa_i}{\partial T}, \quad \delta_{3(i)} = \frac{1}{A_i^{(0)}(T_0)} \frac{\partial A_i}{\partial T}, \quad \delta_{4(i)} = \frac{1}{h_i^{(0)}(T_0)} \frac{\partial h_i}{\partial T}$$

есть термические коэффициенты этих величин.

Представим возмущение температуры в виде суммы локально-равно-весной $T_{0(i)}(x)$, линейных $\Phi_{L(i)}(x, t)$ и нелинейных $\Phi_{N(i)}(x, t)$ частей, т.е. в виде

$$T_i'(x, t) = T_{0(i)}(x) + \Phi_{L(i)}(x, t) + \Phi_{1N(i)}(x, t) + \Phi_{2N(i)}(x, t), \quad (6)$$

где $\Phi_{1N(i)}$ и $\Phi_{2N(i)}$ - нелинейные составляющие колебания температуры соответствующего слоя на основной и второй гармониках.

Тогда система уравнений (1)-(2) распадается на следующие системы уравнений для $T_{0(i)}(x)$, $\Phi_{L(i)}(x, t)$, $\Phi_{1N(i)}(x, t)$ и $\Phi_{2N(i)}(x, t)$:

$$\begin{aligned}(7) \quad \frac{d}{dx} \left[\frac{dT_{0(1)}}{dx} + \frac{\delta_{2(1)}}{2} \frac{d(T_{0(1)})^2}{dx} \right] &= -\frac{I}{\kappa_1^{(0)}(T_0)}, & 0 \leq x \leq R, \\ \frac{d}{dx} \left[\frac{dT_{0(2)}(x)}{dx} + \frac{\delta_{2(2)}}{2} \frac{d(T_{0(2)})^2}{dx} \right] &= 0, & R \leq x \leq L, \\ (8) \quad \frac{\partial^2 \Phi_{L(1)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_1^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{L(1)}}{\partial t} &= -\frac{I}{\kappa_1^{(0)}(T_0)} \exp(i\omega t), & 0 \leq x \leq R, \\ (9) \quad \frac{\partial^2 \Phi_{L(2)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_2^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{L(2)}}{\partial t} &= 0, & R \leq x \leq L, \\ (10) \quad \frac{\partial^2 \Phi_{1N(1)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_1^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{1N(1)}}{\partial t} &= -(\delta_{2(1)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_{(1)}}{\chi_1^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})(T_0(x) \Phi_{L(1)}(x, t)), \\ (11) \quad \frac{\partial^2 \Phi_{1N(2)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_2^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{1N(2)}}{\partial t} &= -(\delta_{2(2)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_{(2)}}{\chi_2^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})(T_0(x) \Phi_{L(2)}(x, t)), \\ (12) \quad \frac{\partial^2 \Phi_{2N(1)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_1^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{2N(1)}}{\partial t} &= -\frac{1}{2} (\delta_{2(1)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_{(1)}}{\chi_1^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})(\Phi_{L(1)}^2(x, t)), \\ (13) \quad \frac{\partial^2 \Phi_{2N(2)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_2^{(0)}} \frac{\partial \Phi_{2N(2)}}{\partial t} &= -\frac{1}{2} (\delta_{2(2)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\delta_{(2)}}{\chi_2^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t})(\Phi_{L(2)}^2(x, t)). \\ (14)\end{aligned}$$

Здесь $I = EJ / ZeR$, $\chi_i^{(0)} = \kappa_i^{(0)} / C_p^{(0)}$ - температуропроводность соответствующих слоев при $T = T_0$ -начальной температуре образца.

Из (3)-(5) получим следующие граничные условия для $\Phi_{L(i)}(x, \omega)$:

$$\kappa_1^{(0)} \frac{\partial \Phi_{L(1)}}{\partial x} \Big|_{x=0} = B_1 \Phi_{L(1)}, \quad \Phi_{L(1)}(x, \omega) \Big|_{x=R} = \Phi_{L(2)}(x, \omega) \Big|_{x=R}, \quad (15)$$

$$\kappa_1^{(0)} \frac{\partial \Phi_{L(1)}}{\partial x} \Big|_{x=R} = \kappa_2^{(0)} \frac{\partial \Phi_{L(2)}}{\partial x} \Big|_{x=R}, \quad -\kappa_2^{(0)} \frac{\partial \Phi_{L(2)}}{\partial x} \Big|_{x=L} = B_2 \Phi_{L(2)}, \quad (16)$$

где $B_i = h_i^{(0)} + 4\sigma A_i^{(0)} T_0^3$. Решение системы уравнений (7)-(8), удовлетворяющее граничные условия (3)-(5), нами получено в [8-12], где достаточно подробно исследованы особенности формирования стационарного поля температуры.

2. Решение системы уравнений для линейной составляющей колебания температуры

Учитывая, что источник модулирован по гармоническому закону, величины $\Phi_{L(i)}(x, t)$ в (9)-(10) представим в виде $\Phi_{L(i)}(x, t) = e^{i\omega t} \Phi_{L(i)}(x, \omega)$ и тогда будем иметь

$$\frac{d^2 \Phi_{L(1)}}{dx^2} - \sigma_1^2 \Phi_{L(1)} = -\xi, \quad (17)$$

$$\frac{d^2 \Phi_{L(2)}}{dx^2} - \sigma_2^2 \Phi_{L(2)} = 0, \quad (18)$$

где $\xi = \frac{I}{\kappa_1^{(0)}(T_0)}$, $\sigma_i^2 = i\omega / \chi_i^{(0)}$, $\sigma_i = (1+i) / \mu_i$, $\mu_i = (2\chi_{0(i)} / \omega)^{1/2}$ - длина тепловой диффузии.

Используя метод вариации постоянных, решение системы уравнений (17)-(18) можно представить в виде

$$\Phi_{L(1)}(x, \omega) = \frac{\xi}{\sigma_1^2} + \gamma_1 e^{\sigma_1 x} + \gamma_2 e^{-\sigma_1 x}, \quad (19)$$

$$\Phi_{L(2)}(x, \omega) = \beta_1 e^{\sigma_2(x-R)} + \beta_2 e^{-\sigma_2(x-R)}. \quad (20)$$

Здесь γ_i и β_i являются постоянными интегрирования. Очевидно, что слагаемые $\gamma_1 e^{\sigma_1 x}$ в (19) и $\beta_1 e^{\sigma_2(x-R)}$ в (20) соответствуют тепловым волнам с нарастающей амплитудой и не являются физическими. По этой причине в дальнейшем ими пренебрегаем. Также пренебрежём первое слагаемое в (19), которое на заданной частоте является постоянным. Используя граничные условия (15) и (16), найдем явный вид γ_2 и β_2 . Тогда будем иметь

$$\Phi_{L(1)} = \frac{\Delta_1}{\Delta} e^{-\sigma_1 x}, \quad 0 \leq x \leq R, \quad (21)$$

$$\Phi_{L(2)} = \frac{\Delta_2}{\Delta} e^{-\sigma_2(x-R)}. \quad R \leq x \leq L. \quad (22)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$\Delta = \frac{G_1}{G_2} e^{-2\sigma_2(L-R)} \left[\frac{R_2(1-b)}{R_1} e^{\sigma_1 R} - (b+1)e^{-\sigma_1 R} \right] + \frac{R_2}{R_1} e^{\sigma_1 R} (b+1) + e^{-\sigma_1 R} (b-1),$$

$$\Delta_1 = -\frac{\xi}{\sigma_1^2} \left\{ \frac{G_1}{G_2} e^{-2\sigma_2(L-R)} \left[\frac{B_1}{\kappa_1^{(0)} R_1 \sigma_1} (1-b)e^{\sigma_1 R} - b \right] + \frac{B_1}{\kappa_1^{(0)} R_1 \sigma_1} (1+b)e^{\sigma_1 R} + b \right\},$$

$$\Delta_2 = \frac{\xi}{\sigma_1^2} \left\{ e^{\sigma_1 R} \frac{R_2}{R_1} - e^{-\sigma_1 R} - \frac{2B_1}{\kappa_1^{(0)} R_1 \sigma_1} \right\}, R_1 = 1 - \frac{B_1}{\kappa_1^{(0)} \sigma_1}, R_2 = 1 + \frac{B_1}{\kappa_1^{(0)} \sigma_1}, G_1 = 1 - \frac{B_2}{\kappa_2^{(0)} \sigma_2},$$

$$G_2 = 1 + \frac{B_2}{\kappa_2^{(0)} \sigma_2}, b = \frac{\kappa_2^{(0)} \sigma_2}{\kappa_1^{(0)} \sigma_1}.$$

Выражения (21)-(22) представляют собой общее решение линейной задачи и описывают частотную зависимость параметров тепловых волн для рассматриваемого случая. Для случая $\kappa_1^{(0)} = \kappa_2^{(0)}$, $\sigma_1 = \sigma_2$, $b = 1$, $R_1 = G_1$ и $R_2 = G_2$ справедливы равенства

$$\Delta = 2e^{\sigma_1 R} \left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{R_1}{R_2} e^{-2\sigma_1 L} \right), \quad (23)$$

$$\Delta_1 = \frac{\xi}{\sigma_1^2} \left[\frac{R_1}{R_2} e^{-2\sigma_1(L-R)} - \frac{2B_1}{\kappa_1^{(0)} R_1 \sigma_1} e^{\sigma_1 R} - 1 \right], \quad (24)$$

$$\Delta_2 = \frac{\xi}{\sigma_1^2} \left[\frac{1}{R_1} (R_2 e^{\sigma_1 R} - \frac{2B_1}{\kappa_1^{(0)} \sigma_1}) - e^{-\sigma_1 R} \right]. \quad (25)$$

Выражение для σ_i позволяет определить величины скорости $\mathcal{G} = (2\omega\chi_{0(i)})^{1/2} = 2(\pi\chi/T)^{1/2}$, длины волны $\lambda = 2\pi\mu = 2\pi(2\chi_{0(i)}/\omega)^{1/2}$ и фазы $\varphi = x/\mu = (\omega/2\chi)^{1/2} x$ тепловой волны соответственно. Здесь T - период колебаний этой волны.

Выполним анализ выражений (23)-(25). Исходим из того, что величина $R \propto (10^{-8} - 10^{-7})\text{м}$. Тогда справедлива оценка $R\sigma_1 \propto R/\mu_1(\omega) \ll 1$. С другой стороны, $L \propto 10^{-3} - 10^{-2}\text{м}$, т.е. $L \gg R$, $L/\mu(\omega) \gg 1$ и $\text{Exp}[-L/\mu(\omega)] \propto 0$. Для диэлектриков $h \propto 10\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ и значительно больше $4\sigma A_i^{(0)} T_0^3$, тогда $B_i \propto h_i^{(0)}$. $B_1/\kappa_1^{(0)}\sigma \propto h\mu(\omega)/k_1^{(0)} \leq 10^{-2}$ и $R_i \propto 1$. Это приводит к тому, что $\Delta \propto 2$, $\Delta_1 \propto \xi/\sigma_1^2$, $\Delta_2 \propto 2\xi B_1/k_1^{(0)}\sigma_1^3$. В этом случае выражения (21) и (22) примут вид

$$\Phi_{L(1)} = \frac{\xi}{2\sigma_1^2} e^{-\sigma_1 x + i\pi}, \quad 0 \leq x \leq R, \quad (26)$$

$$\Phi_{L(2)} = \frac{\xi B_1}{k_1^{(0)} \sigma_1^3} e^{-\sigma_2(x-R) + i\pi}, \quad R \leq x \leq L. \quad (27)$$

Из (26) следует, что частотная зависимость амплитуды линейного составляющего возбуждаемой тепловой волны в облучаемом слое $\propto \omega^{-1}$, в то время как для не облучаемого слоя $\propto \omega^{-3/2}$.

3. Решение системы уравнений для основной

гармоники нелинейного колебания температуры

Исходим из того, что граничные условия (5) для рассматриваемого случая примут вид

$$\Phi_{1N(1)}(x, \omega) \Big|_{x=R} = \Phi_{1N(2)}(x, \omega) \Big|_{x=R}, \quad (28)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Phi_{1N(1)} + \delta_{2(1)} T_{0(1)}(x) \Phi_{L(1)} \right) \Big|_{x=R} = \frac{\kappa_2^{(0)}}{\kappa_1^{(0)}} \frac{\partial}{\partial x} \left(\Phi_{1N(2)} + \delta_{2(2)} T_{0(2)}(x) \Phi_{L(2)} \right) \Big|_{x=R}. \quad (29)$$

Тогда возникает необходимость иметь уравнение для функции

$\Psi_{1N(i)} = \Phi_{1N(i)} + \delta_{2(i)} T_{0(i)}(x) \Phi_{L(i)}$. Из (11) и (12) для этой функции получим следующее уравнение:

$$\frac{\partial^2 \Psi_{1N(i)}}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_i^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t} \Psi_{1N(i)} = \frac{\delta_{(i)} - \delta_{2(i)}}{\chi_i^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t} (T_{0(i)}(x) \Phi_{L(i)}(x, t)), \quad i = 1, 2. \quad (30)$$

Тогда граничные условия (3) и (4) примут вид

$$\kappa_1^{(0)} \frac{\partial \Psi_{1N(1)}}{\partial x} = B_1 \Psi_{1N(1)} + (2D_1 - \delta_{2(1)} B_1) T_{0(1)}(x) \Phi_{L(1)}(x, \omega), \quad (31)$$

$$-\kappa_2^{(0)} \frac{\partial \Psi_{1N(2)}}{\partial x} = B_2 \Psi_{1N(2)} + (2D_2 - \delta_{2(2)} B_2) T_{0(2)}(x) \Phi_{L(2)}(x, \omega). \quad (32)$$

Здесь $D_i = h_i^{(0)} \delta_{4(i)} + 4\sigma A_i^{(0)} T_0^3 \delta_{3(i)}$. Учитывая, что $\Phi_{L(i)}(x, t) = \Phi_{L(i)}(x, \omega) \exp(i\omega t)$ в (30) положим $\Phi_{N(i)}(x, t) = \Phi_{N(i)}(x, \omega) \exp(i\omega t)$ и будем иметь

$$\frac{d^2 \Psi_{1N(i)}}{dx^2} - \sigma_i^2 \Psi_{1N(i)} = \sigma_i^2 (\delta_{(i)} - \delta_{2(i)}) T_{0(i)}(x) \Phi_{L(i)}(x, \omega), \quad i=1,2. \quad (33)$$

Решение уравнения (33) имеет вид

$$\Psi_{1N(1)}(x, \omega) = \gamma_{1(1)} e^{\sigma_1 x} + \gamma_{2(1)} e^{-\sigma_1 x} + W_1 [S_{1(1)}(x) e^{\sigma_1 x} - S_{1(2)}(x) e^{-\sigma_1 x}], \quad (34)$$

$$\Psi_{1N(2)}(x, \omega) = \gamma_{1(2)} e^{\sigma_2(x-R)} + \gamma_{2(2)} e^{-\sigma_2(x-R)} + W_2 [S_{2(1)}(x) e^{\sigma_2(x-R)} - S_{2(2)}(x) e^{-\sigma_2(x-R)}]. \quad (35)$$

Здесь использованы обозначения:

$$W_1 = \frac{1}{2\delta_{2(1)}} \sigma_1 (\delta_{(1)} - \delta_{2(1)}), \quad W_2 = \frac{1}{2\delta_{2(2)}} \sigma_2 (\delta_{(2)} - \delta_{2(2)}).$$

$$S_{1(1)}(x, \omega) = \int g_{01}(x) \Phi_{L(1)}(x, \omega) e^{-\sigma_1 x} dx, \quad S_{1(2)}(x, \omega) = \int g_{01}(x) \Phi_{L(1)}(x, \omega) e^{\sigma_1 x} dx, \quad (36)$$

$$S_{2(1)}(x, \omega) = \int g_{02}(x) \Phi_{L(2)}(x, \omega) e^{-\sigma_2(x-R)} dx, \quad S_{2(2)}(x, \omega) = \int g_{02}(x) \Phi_{L(2)}(x, \omega) e^{\sigma_2(x-R)} dx, \quad (37)$$

$g_{01}(x) = \delta_{2(1)} T_{01}(x)$, $g_{02}(x) = \delta_{2(2)} T_{02}(x)$. Для определения величин $\gamma_{1(1)}$, $\gamma_{1(2)}$, $\gamma_{2(1)}$ и $\gamma_{2(2)}$, используя граничные условия (28), (29), (31) и (32), получим следующую систему алгебраических уравнений:

$$\gamma_{1(1)} e^{\sigma_1 R} + \gamma_{2(1)} e^{-\sigma_1 R} + W_1 [S_{1(1)}(R) e^{\sigma_1 R} - S_{1(2)}(R) e^{-\sigma_1 R}] - g_{0(1)}(R) \Phi_{L(1)}(R, \omega) = \gamma_{1(2)} + \gamma_{2(2)} + W_2 [S_{2(1)}(R) - S_{2(2)}(R)] - g_{0(2)}(R) \Phi_{L(2)}(R, \omega), \quad (38)$$

$$\kappa_1^{(0)} \sigma_{1(1)} [\gamma_{1(1)} - \gamma_{2(1)} + W_1 [S_{1(1)}(0, \omega) + S_{1(2)}(0, \omega)]] = B \{ \gamma_{1(1)} + \gamma_{2(1)} + W_1 [S_{1(1)}(0, \omega) + S_{1(2)}(0, \omega)] \} + (2D_1 - \delta_{2(1)} B) T_{0(1)}(0) \Phi_{L(1)}(0, \omega), \quad (39)$$

$$-\kappa_2^{(0)} \sigma_2 \{ \gamma_{1(2)} e^{\sigma_2(L-R)} - \gamma_{2(2)} e^{-\sigma_2(L-R)} + W_2 [S_{2(1)}(L, \omega) e^{\sigma_2(L-R)} + S_{2(2)}(L, \omega) e^{-\sigma_2(L-R)}] \} = B \{ \gamma_{1(2)} e^{\sigma_2(L-R)} + \gamma_{2(2)} e^{-\sigma_2(L-R)} + W_2 [S_{2(1)}(L, \omega) e^{\sigma_2(L-R)} - S_{2(2)}(L, \omega) e^{-\sigma_2(L-R)}] \} + (2D_2 - \delta_{2(2)} B) T_{0(2)}(L) \Phi_{L(2)}(L, \omega), \quad (40)$$

$$\frac{\kappa_1^{(0)} \sigma_1}{\kappa_2^{(0)} \sigma_2} \{ \gamma_{1(1)} e^{\sigma_1 R} - \gamma_{2(1)} e^{-\sigma_1 R} + W_1 [S_{1(1)}(R) e^{\sigma_1 R} + S_{1(2)}(R) e^{-\sigma_1 R}] \} = \gamma_{1(2)} - \gamma_{2(2)} + W_2 [S_{2(1)}(R) + S_{2(2)}(R)]. \quad (41)$$

Используя определения

$$F_1 = W_1 [S_{1(2)}(R) e^{-\sigma_1 R} - S_{1(1)}(R) e^{\sigma_1 R}] + W_2 [S_{2(1)}(R) - S_{2(2)}(R)] + g_{0(1)}(R) \Phi_{L(1)}(R, \omega) - g_{0(2)}(R) \Phi_{L(2)}(R, \omega),$$

$$F_2 = W_1 S_{1(1)}(0, \omega) (1 - d_1) - W_1 S_{1(2)}(0, \omega) (d_1 - 1) + \frac{1}{B} (2D_1 - \delta_{2(1)} B) T_{0(1)}(0) \Phi_{L(1)}(0, \omega),$$

$$F_3 = W_2 S_{2(1)}(L, \omega) e^{\sigma_2(L-R)} (1 + d_2) - W_2 S_{2(2)}(L, \omega) e^{-\sigma_2(L-R)} (1 - d_2) + \frac{1}{B} (2D_2 - \delta_{2(2)} B) T_{0(2)}(L) \Phi_{L(2)}(L, \omega),$$

$$F_4 = -\frac{W_1}{b} [S_{1(1)}(R) e^{\sigma_1 R} + S_{1(2)}(R) e^{-\sigma_1 R}] + W_2 [S_{2(1)}(R) + S_{2(2)}(R)], \quad \frac{\kappa_1^{(0)} \sigma_1}{B} = d_1, \quad \frac{\kappa_2^{(0)} \sigma_2}{B} = d_2,$$

систему уравнений (38)-(41) перепишем в виде

$$\gamma_{1(1)}e^{\sigma_1 R} + \gamma_{2(1)}e^{-\sigma_1 R} - \gamma_{1(2)} - \gamma_{2(2)} = F_1, \quad (42)$$

$$d_1(\gamma_{1(1)} - \gamma_{2(1)}) - \gamma_{1(1)} - \gamma_{2(1)} = F_2, \quad (43)$$

$$-d_2(\gamma_{1(2)}e^{\sigma_2(L-R)} - \gamma_{2(2)}e^{-\sigma_2(L-R)}) - \gamma_{1(2)}e^{\sigma_2(L-R)} - \gamma_{2(2)}e^{-\sigma_2(L-R)} = F_3, \quad (44)$$

$$\frac{1}{b}(\gamma_{1(1)}e^{\sigma_1 R} - \gamma_{2(1)}e^{-\sigma_1 R}) - \gamma_{1(2)} + \gamma_{2(2)} = F_4. \quad (45)$$

Из этой системы, исключив $\gamma_{1(2)}$, $\gamma_{2(1)}$ и используя обозначения

$$F_a = F_1 + \frac{F_2 e^{-\sigma_1 R}}{1+d_1} - \frac{F_3 e^{-\sigma_2(L-R)}}{d_2+1}, \quad F_b = F_4 - \frac{F_2 e^{-\sigma_1 R}}{b(1+d_1)} - \frac{F_3 e^{-\sigma_2(L-R)}}{d_2+1},$$

для определения $\gamma_{1(1)}$, $\gamma_{2(2)}$ получим систему

$$\gamma_{1(1)}\left[e^{\sigma_1 R} + \frac{d_1-1}{d_1+1}e^{-\sigma_1 R}\right] - \gamma_{2(2)}\left[1 + \frac{d_2-1}{d_2+1}e^{-2\sigma_2(L-R)}\right] = F_a, \quad (46)$$

$$\frac{\gamma_{1(1)}}{b}\left[e^{\sigma_1 R} - \frac{d_1-1}{d_1+1}e^{-\sigma_1 R}\right] + \gamma_{2(2)}\left[1 - \frac{(d_2-1)}{d_2+1}e^{-2\sigma_2(L-R)}\right] = F_b, \quad (47)$$

решение которой имеет вид

$$\gamma_{2(2)} = \frac{\Delta_2^*}{\Delta^*}, \quad \gamma_{1(1)} = \frac{\Delta_1^*}{\Delta^*}. \quad (48)$$

Здесь

$$\Delta^* = \frac{4[d_1 ch(\sigma_1 R) + sh(\sigma_1 R)][d_2 sh\sigma_2(L-R) + ch\sigma_2(L-R)]e^{-\sigma_2(L-R)}}{(d_1+1)(d_2+1)} +$$

$$+ \frac{4[d_2 ch\sigma_2(L-R) + sh\sigma_2(L-R)][d_1 sh(\sigma_1 R) + ch(\sigma_1 R)]e^{-\sigma_2(L-R)}}{(d_1+1)(d_2+1)}.$$

$$\Delta_1^* = \frac{2\{ch\sigma_2(L-R)(F_a + d_2 F_b) + sh\sigma_2(L-R)(F_b + d_2 F_a)\}e^{-\sigma_2(L-R)}}{(d_2+1)}.$$

$$\Delta_2^* = \frac{2}{(d_1+1)}[ch\sigma_1 R(F_b d_1 - F_a) + sh\sigma_1 R(F_b - d_1 F_a)].$$

Тогда из оставшейся системы уравнений (42)-(45) найдем явный вид величин $\gamma_{1(2)}$ и $\gamma_{2(1)}$:

$$\gamma_{1(2)} = \frac{\gamma_{2(2)}e^{-\sigma_2(L-R)}(d_2-1) - F_3}{(1+d_2)e^{\sigma_2(L-R)}} = \frac{d_2-1}{d_2+1}e^{-2\sigma_2(L-R)}\frac{\Delta_2^*}{\Delta^*} - \frac{F_3 e^{-\sigma_2(L-R)}}{d_2+1}, \quad (49)$$

$$\gamma_{2(1)} = \frac{\gamma_{1(1)}(d_1-1) - F_2}{1-d_1} = \frac{d_1-1}{d_1+1}\frac{\Delta_1^*}{\Delta^*} - \frac{F_2}{d_1+1}. \quad (50)$$

Выражения (34) и (35) совместно с (48)-(50) являются общим решением сформулированной задачи. Нетрудно заметить, что первый и третий слагаемые в выражениях (34) и (35) являются расходящимися и в дальнейшем ими пренебрежём. Тогда будем иметь

$$\Psi_{1N(1)}(x, \omega) = e^{-\sigma_1 x}[\gamma_{2(1)} - W_1 S_{1(2)}(x)], \quad (51)$$

$$\Psi_{1N(2)}(x, \omega) = e^{-\sigma_2(x-R)}[\gamma_{2(2)} - W_2 S_{2(2)}(x)]. \quad (52)$$

Выражения (51) и (52) совместно с (48)-(50) описывают все особенности генерации основной гармоник нелинейной тепловой волны.

4. Решение системы уравнений для второй гармоники нелинейного колебания температуры

Для этого случая граничные условия (5) позволяют получить равенства

$$\Phi_{2N(1)}(x, \omega)\Big|_{x=R} = \Phi_{2N(2)}(x, \omega)\Big|_{x=R}, \quad (53)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Phi_{2N(1)}(x, t) + 0.5\delta_{2(1)} \Phi_{L(1)}^2(x, t) \right)\Big|_{x=R} = \frac{\kappa_2^{(0)}}{\kappa_1^{(0)}} \frac{\partial}{\partial x} \left(\Phi_{2N(2)} + 0.5\delta_{2(2)} \Phi_{L(2)}^2(x, t) \right)\Big|_{x=R}. \quad (54)$$

Тогда, очевидно, возникает необходимость иметь уравнение для функции $\Psi_{2N(i)}(x, t) = \Phi_{2N(i)}(x, t) + 0.5\delta_{2(i)} \Phi_{L(i)}^2(x, t)$. Из (13) и (14) для $\Psi_{2N(i)}(x, t)$ получим следующее уравнение:

$$\frac{\partial^2 \Psi_{2N(i)}(x, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\chi_i^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t} \Psi_{2N(i)}(x, t) = \frac{\delta_{(i)} - \delta_{2(i)}}{2\chi_i^{(0)}} \frac{\partial}{\partial t} \Phi_{L(i)}^2(x, t), \quad i=1,2, \quad (55)$$

а из (3) и (4) получим следующие граничные условия для $\Psi_{2N(i)}(x, t)$:

$$\kappa_1^{(0)} \frac{\partial \Psi_{2N(1)}}{\partial x}\Big|_{x=0} = B_1 \Psi_{2N(1)}(x, t) + (D_1 - 0.5\delta_{2(1)} B_1) \Phi_{L(1)}^2(x, t)\Big|_{x=L}, \quad (56)$$

$$-\kappa_2^{(0)} \frac{\partial \Psi_{2N(2)}}{\partial x}\Big|_{x=L} = B_2 \Psi_{2N(2)}(x, t) + (D_2 - 0.5\delta_{2(2)} B_2) \Phi_{L(2)}^2(x, t)\Big|_{x=L}. \quad (57)$$

Как и ранее, положим $\Phi_{L(i)}^2(x, t) = \Phi_{L(i)}^2(x, \omega)e^{2i\omega t}$, $\Psi_{2N(i)}(x, t) = \Psi_{2N(i)}(x, \omega)e^{2i\omega t}$ и тогда из (55) будем иметь

$$\frac{d^2 \Psi_{2N(i)}(x, \omega)}{dx^2} - \sigma_{2(i)}^2 \Psi_{2N(i)}(x, \omega) = R_{2(i)} \sigma_{2(i)} \Phi_{L(i)}^2(x, \omega), \quad i=1,2, \quad (58)$$

где $R_{2(i)} = 0.25(\delta_{(i)} - \delta_{2(i)})\sigma_{2(i)}$.

Решение (58) имеет следующий вид:

$$\Psi_{2N(1)}(x, \omega) = \mu_{1(1)} e^{\sigma_{2(1)} x} + \mu_{1(2)} e^{-\sigma_{2(1)} x} + R_{2(1)} [e^{\sigma_{2(1)} x} W_{1(1)}(x, \omega) - e^{-\sigma_{2(1)} x} W_{1(2)}(x, \omega)], \quad (59)$$

$$\Psi_{2N(2)}(x, \omega) = \mu_{2(1)} e^{\sigma_{2(2)}(x-R)} + \mu_{2(2)} e^{-\sigma_{2(2)}(x-R)} + R_{2(2)} [e^{\sigma_{2(2)}(x-R)} W_{2(1)}(x, \omega) - e^{-\sigma_{2(2)}(x-R)} W_{2(2)}(x, \omega)], \quad (60)$$

где

$$W_{1(1)}(x, \omega) = \int e^{-\sigma_{2(1)} x} \Phi_{L(1)}^2(x, \omega) dx, \quad W_{1(2)}(x, \omega) = \int e^{\sigma_{2(1)} x} \Phi_{L(1)}^2(x, \omega) dx.$$

$$W_{2(1)}(x, \omega) = \int e^{-\sigma_{2(2)}(x-R)} \Phi_{L(2)}^2(x, \omega) dx, \quad W_{2(2)}(x, \omega) = \int e^{\sigma_{2(2)}(x-R)} \Phi_{L(2)}^2(x, \omega) dx.$$

Для определения величин $\mu_{1(1)}$, $\mu_{1(2)}$, $\mu_{2(1)}$ и $\mu_{2(2)}$ из граничных условий (53), (54), (56) и (57) получим следующую систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} & \mu_{1(1)} e^{\sigma_{2(1)} R} + \mu_{1(2)} e^{-\sigma_{2(1)} R} + R_{2(1)} [W_{1(1)}(R, \omega) + W_{1(2)}(R, \omega)] - 0.5 \delta_{2(1)} \Phi_{L(1)}^2(R, \omega) = \\ & = \mu_{2(1)} + \mu_{2(2)} + R_{2(2)} [W_{2(1)}(R, \omega) + W_{2(2)}(R, \omega)] - 0.5 \delta_{2(2)} \Phi_{L(2)}^2(R, \omega) \end{aligned} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} & \mu_{1(1)} e^{\sigma_{2(1)} R} - \mu_{1(2)} e^{-\sigma_{2(1)} R} + \frac{R_{2(1)}}{\sigma_{2(1)}} [e^{\sigma_{2(1)} R} \Phi_{L(1)}^2(R, \omega) + e^{-\sigma_{2(1)} R} \Phi_{L(1)}^2(R, \omega)] = \\ & = \frac{\kappa_2^{(0)} \sigma_{2(2)}}{\kappa_1^{(0)} \sigma_{2(1)}} [(\mu_{2(1)} - \mu_{2(2)}) + \frac{2R_{2(2)}}{\sigma_{2(2)}} \Phi_{L(2)}^2(R, \omega)] \end{aligned} \quad (61)$$

$$\begin{aligned} & \kappa_1^{(0)} \sigma_{2(1)} [\mu_{1(1)} - \mu_{1(2)} + \frac{2R_{2(1)}}{\sigma_{2(1)}} \Phi_{L(1)}^2(0, \omega)] = \\ & = B_1 \{ \mu_{2(1)} + \mu_{2(2)} + R_{2(1)} [W_{1(1)}(0, \omega) + W_{1(2)}(0, \omega)] \} + (D_1 - 0.5 \delta_{2(1)} B_1) \Phi_{L(1)}^2(0, \omega) \end{aligned} \quad (62)$$

$$\begin{aligned} & - \kappa_2^{(0)} \sigma_{2(2)} \{ [\mu_{2(1)} e^{\sigma_{2(2)}(L-R)} - \mu_{2(2)} e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)}] + \frac{2R_{2(2)}}{\sigma_{2(2)}} ch[\sigma_{2(2)}(L-R)] \Phi_{L(2)}^2(L, \omega) \} = \\ & = B_2 \{ (\mu_{2(1)} e^{\sigma_{2(2)}(L-R)} + \mu_{2(2)} e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)} + R_{2(2)} (W_{2(1)}(L, \omega) + W_{2(2)}(L, \omega))) \} + \\ & + (D_2 - 0.5 \delta_{2(2)} B_2) \Phi_{L(2)}^2(L, \omega) \end{aligned} \quad (63)$$

В (60)-(63) введем следующие обозначения:

$$G_1 = R_{2(2)} [W_{2(1)}(R, \omega) + W_{2(2)}(R, \omega)] - R_{2(1)} [W_{1(1)}(R, \omega) + W_{1(2)}(R, \omega)] + 0.5 [\delta_{2(1)} \Phi_{L(1)}^2(R, \omega) - \delta_{2(2)} B_2] \Phi_{L(2)}^2(R, \omega), \quad \lambda_1 = \frac{\kappa_1^{(0)} \sigma_{2(1)}}{B_1},$$

$$G_2 = \frac{2R_{2(2)}}{\sigma_{2(2)}} \Phi_{L(2)}^2(R, \omega) - \frac{2R_{2(1)}}{\sigma_{2(1)}} ch(\sigma_{2(1)} R) \Phi_{L(1)}^2(R, \omega), \quad \lambda_2 = \frac{\kappa_2^{(0)} \sigma_{2(2)}}{B_2},$$

$$G_3 = \frac{1}{B_1} (D_1 - 0.5 \delta_{2(1)} B_1) \Phi_{L(1)}^2(0, \omega) + R_{2(1)} [W_{1(1)}(0, \omega) + W_{1(2)}(0, \omega)] - \frac{2\lambda_1 R_{2(1)}}{\sigma_{2(1)}} \Phi_{L(1)}^2(0, \omega),$$

$$\begin{aligned} G_4 &= \frac{1}{B_2} (D_2 - 0.5 \delta_{2(2)} B_2) \Phi_{L(2)}^2(L, \omega) + R_{2(2)} [W_{2(1)}(L, \omega) + W_{2(2)}(L, \omega)] + \\ & + \frac{2\lambda_2 R_{2(2)}}{\sigma_{2(2)}} ch \sigma_{2(2)}(L-R) \Phi_{L(2)}^2(L, \omega) \end{aligned}$$

Тогда систему (60)-(63) можно переписать в виде

$$\mu_{1(1)} e^{\sigma_{2(1)} R} + \mu_{1(2)} e^{-\sigma_{2(1)} R} - (\mu_{2(1)} + \mu_{2(2)}) = G_1, \quad (64)$$

$$\mu_{1(1)} e^{\sigma_{2(1)} R} - \mu_{1(2)} e^{-\sigma_{2(1)} R} - b(\mu_{2(1)} - \mu_{2(2)}) = G_2, \quad (65)$$

$$\lambda_1 (\mu_{1(1)} - \mu_{1(2)}) - (\mu_{2(1)} + \mu_{2(2)}) = G_3, \quad (66)$$

$$- \lambda_2 [\mu_{2(1)} e^{\sigma_{2(2)}(L-R)} - \mu_{2(2)} e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)}] - (\mu_{2(1)} e^{\sigma_{2(2)}(L-R)} + \mu_{2(2)} e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)}) = G_4. \quad (67)$$

Суммируя (64) с (65), а затем (65) с (66), получим следующие уравнения:

$$2\mu_{1(1)}e^{\sigma_{2(1)}R} - \mu_{2(1)}(1+b) + \mu_{2(2)}(b-1) = G_1 + G_2, \quad (68)$$

$$\mu_{1(1)}\left(\lambda_1 + \frac{e^{\sigma_{2(1)}R}}{b}\right) - \mu_{1(2)}\left(\lambda_1 + \frac{e^{-\sigma_{2(1)}R}}{b}\right) - 2\mu_{2(1)} = G_2 + G_3. \quad (69)$$

Исключив из (65) величины $\mu_{2(1)}$ и $\mu_{2(2)}$ и выполняя простые выкладки в (67), получим

$$\mu_{1(1)}(\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}) - \mu_{1(2)}(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)}R}) = G_3 - G_1, \quad (70)$$

$$\mu_{2(1)}e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}(\lambda_2 + 1) + \mu_{2(2)}e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)}(1 - \lambda_2) = -G_4. \quad (71)$$

Из (70) и (71) для $\mu_{2(1)}$ и $\mu_{2(2)}$ получим выражения

$$\mu_{1(1)} = \frac{\mu_{1(2)}(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)}R}) + G_3 - G_1}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}}, \quad \mu_{2(1)} = \frac{\mu_{2(2)}(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)} - G_4}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}}, \quad (72)$$

постановка которых в (68) и (69) позволяет получить следующую замкнутую систему уравнений для $\mu_{1(2)}$ и $\mu_{2(2)}$:

$$\frac{2[\mu_{1(2)}(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)}R}) + G_3 - G_1]e^{\sigma_{2(1)}R}}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}} - \frac{(1+b)[\mu_{2(2)}(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)} - G_4]}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}} + \mu_{2(2)}(b-1) = G_1 + G_2,$$

$$\left[\lambda_1 + \frac{e^{\sigma_{2(1)}R}}{b}\right] \frac{\mu_{1(2)}(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)}R}) + G_3 - G_1}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}} - \mu_{1(2)}\left(\lambda_1 + \frac{e^{-\sigma_{2(1)}R}}{b}\right) - \frac{2[\mu_{2(2)}(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)} - G_4]}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}} = G_2 + G_3$$

Эту систему уравнений удобно представить в виде

$$\begin{cases} \mu_{1(2)}b_{11} - \mu_{2(2)}b_{12} = \Psi_1 \\ \mu_{1(2)}b_{21} + \mu_{2(2)}b_{22} = \Psi_2 \end{cases}. \quad (73)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$b_{11} = \frac{2(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)}R})e^{\sigma_{2(1)}R}}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}}, \quad b_{12} = \frac{(1+b)(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)}}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}} + (1-b),$$

$$b_{21} = \left(\lambda_1 + \frac{e^{\sigma_{2(1)}R}}{b}\right) \frac{(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)}R})}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}} - \left(\lambda_1 + \frac{e^{-\sigma_{2(1)}R}}{b}\right), \quad b_{22} = -\frac{2(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)}(L-R)}}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}}.$$

$$\Psi_1 = G_1 + G_2 - \frac{2e^{\sigma_{2(1)}R}(G_3 - G_1)}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}} - \frac{(1+b)G_4}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(1)}(L-R)}},$$

$$\Psi_2 = G_2 + G_3 - \frac{(\lambda_1 + \frac{e^{\sigma_{2(1)}R}}{b})(G_3 - G_1)}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)}R}} - \frac{2G_4}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)}(L-R)}}.$$

Решив систему уравнений (73) и подставляя её результат в выражение (72), окончательно будем иметь

$$\begin{aligned}
\mu_{1(1)} &= \frac{(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)R}}) \Delta_1^{**}}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)R}}} + \frac{G_3 - G_1}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)R}}}, & \mu_{1(2)} &= \frac{\Delta_1^{**}}{\Delta^{**}}, \\
(74) \mu_{2(1)} &= \frac{(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)(L-R)}} \Delta_2^{**}}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)(L-R)}} \Delta^{**}} - \frac{G_4}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)(L-R)}}}, & \mu_{2(2)} &= \frac{\Delta_2^{**}}{\Delta^{**}}.
\end{aligned} \tag{75}$$

Здесь использованы обозначения

$$\begin{aligned}
\Delta^{**} &= b_{11}b_{22} + b_{12}b_{21} = \frac{4e^{\sigma_{2(1)R}}(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)R}})(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)(L-R)}}}{(\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)R}})(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)(L-R)}}} - \\
&- [(1-b) \frac{(1+b)(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)(L-R)}}}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)(L-R)}}}] [(\lambda_1 + \frac{e^{\sigma_{2(2)R}}}{b}) \frac{(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)R}})}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)R}}} - (\lambda_1 + \frac{e^{-\sigma_{2(2)R}}}{b})], \\
\Delta_1^{**} &= \Psi_1 b_{22} + b_{12} \Psi_2 = \frac{[(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)(L-R)}}] \Psi_1}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)(L-R)}}} + [\frac{(1+b)(\lambda_2 - 1)e^{-\sigma_{2(2)(L-R)}}}{(\lambda_2 + 1)e^{\sigma_{2(2)(L-R)}}} + (1-b)] \Psi_2, \\
\Delta_2^{**} &= b_{11} \Psi_2 - b_{21} \Psi_1 = \frac{2\Psi_2 (\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)R}}) e^{\sigma_{2(1)R}}}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)R}}} - [(\lambda_1 + \frac{e^{\sigma_{2(2)R}}}{b}) \frac{(\lambda_1 + e^{-\sigma_{2(1)R}})}{\lambda_1 - e^{\sigma_{2(1)R}}} - (\lambda_1 + \frac{e^{-\sigma_{2(2)R}}}{b})] \Psi_1.
\end{aligned}$$

Выражения (70) и (71) совместно с (74)–(75) являются общим решением задачи возбуждения второй гармоники нелинейной тепловой волны для рассматриваемого образца. Отметим, что основным механизмом этой генерации является тепловая нелинейность теплофизических величин образца, а также степени её черноты и коэффициента теплоотдачи.

Таким образом, в рамках настоящей работы предложена теория генерации тепловых волн в диэлектрических пленках посредством гармонически модулированного потока ионов. Установлено, что частотная зависимость амплитуды линейного составляющего возбуждаемой тепловой волны в облучаемом слое $\propto \omega^{-1}$, в то время как для не облучаемого слоя $\propto \omega^{-3/2}$. Также получены общие выражения для основной и второй гармоник нелинейного составляющего тепловых волн, полученные с учетом температурной зависимости теплофизических и оптических параметров образца.

Финансирование работы. Исследование выполнено в рамках республиканской целевой программы (0121ТJ1095).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко, В.И. Модификация металлических материалов импульсными пучками частиц / В. И. Бойко, А.Н. Валяев, А.Д. Погребняк // УФН. - 1999. - Т.169. - №11. – С.1243.
2. Вайсбурд, Д.И. Влияние термического сопротивления контакта диэлектрик-металл на температурное поле в диэлектрике при облучении ионным пучком / Д.И. Вайсбурд, В.Ф. Пичугин, М.И. Чебодаев // Изв. вузов. Физика. - 2001. - № 4. – С.39-43.
3. Бойко, В.И. Взаимодействия импульсных пучков заряженных частиц с веществом / В.И. Бойко, В.А. Скворцов, В.Е. Фортов, И.В. Шаманин. // - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
4. Черняев, А.П. Взаимодействия ионизирующего излучения с веществом / А.П. Черняев // - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 152 с.
Комаров, Ф.Ф. Дефектообразование и трекообразование в твердых телах при облучении ионами сверхвысоких энергий / Ф.Ф. Комаров // УФН. - 2003. -Т.173. - №12. – С. 1287-1318.
5. Фортов, В.Е. Интенсивные ионные пучки для генерации экстремальных состояний вещества / В.Е. Фортов, Д. Хоффманн, Б.Ю. Шарков // УФН. - 2008. - Т.178. - №2. – С.113.
6. Комаров, Ф.Ф. Нано-и макроструктурирование твердых тел быстрыми тяжёлыми ионами / Ф.Ф. Комаров // УФН. - 2017. -Т.175. - №5. – С. 465-504.
7. Салихов, Т.Х. Влияние тепловой нелинейности теплофизических величин на стационарное температурное поле тонких плёнок диэлектриков в поле непрерывного пучка протонов / Т.Х. Салихов, А.А. Абдурахмонов Ф.К. Рахими // ДАН РТ.- 2016. - Т. 59. - №1-2. – С. 41-45.

9. Бондаренко, В.Н. Контроль температуры полимерных пленок при облучении пучком ускоренных ионов / В.Н. Бондаренко, А.В. Гончаров, В.И. Сухоставець, Т.Х. Салихов, А.А. Абдурахмонов // Восточно-европейский физический журнал. -2017-Т.4-№1.- С.62-69.
10. Салихов, Т.Х. Температурное поле пленок диэлектриков в поле непрерывного пучка ионов/Т.Х. Салихов, А.А. Абдурахмонов// Теплофизика и аэромеханика. - 2017- Т.24- №6. – С.981-984.
11. Салихов, Т.Х. О стационарном температурном поле диэлектрических пленок и подложки в поле непрерывного пучка ионов / Т.Х. Салихов, А.А. Абдурахмонов // Вестник ТНУ. – 2017. - №1/4.- С.77-81.
12. Салихов, Т.Х. Формирование температурного поля диэлектрических пленок и подложки в поле непрерывного пучка ионов / Т.Х. Салихов, А.А. Абдурахмонов // Инженерно-физический журнал. - 2018 – Т.91. - №6. – С.1497- 1501.
13. Kenji Kimura. Acoustic Radiation Induced by Intensity Modulated Ion Beam/ Kenji Kimura, Kenji Nakanishi, Akira Nishimura, Michihiko Mannami// Japanese Journal of Applied Physics. – 1985.- Vol. 24.- № 6. – Pp. L449- L450.
14. Mori,Y. Fast beam chopper with ma cores / M. Muto, C. Ohmori, Y. Shirakabel, A. Takagi // Proceedings of EPAC 2000.- Vienna, Austria.- Pp. 2468-2470.
15. Wiesner, C. Chopping high-intensity ion beams at franz / Wiesner C., M. Droba, O. Meusel, D. Noll, O. Payir, U. Ratzinger, P. Schneider // Proceedings of LINAC 2014. - Geneva, Switzerland. - Pp.765-769.
16. Lin Ai. Efficient Second Harmonic Generation of Diced Ridge Waveguides Based on Carbon Ion-irradiated Periodically Poled LiNbO3 / Lin Ai Lei Wang, Yang Tan, Shavkat Akhmadaliev, Shengqiang Zhou, and Feng Chen // Journal of Lightwave Technology. - 2016.
17. Shafiei, S. Design and Development of a Chopper for Ion Beam Current Measurement and Monitoring / Shafiei S., M. Lamehi-Rashti, Y.Vosoughi // Journal of Nuclear Research and Applications. - 2022. - № 2(2). - Pp. 13-19.
18. Rosencwaig, A. Theory of the photoacoustic effect with solids / A. Rosencwaig, A. Gersho // J.Appl Phys. -1976. – Vol.47. No.1. -Pp.64-69.
19. Fujji, Y. Photoacoustic Spectroscopy Theory for Multi-Layered Samples and Interference Effect / Y.Fujji, A. Moritani, J. Nakai // Jpn. J. Appl. Phys. -1981.-Vol.20. No.2. -Pp. 361-367.
20. Barros, M, Faria M. Photoacoustic procedure for measuring thermal parameters of transparent solids / M. Barros, R.M. Faria // Appl. Phys. Lett -1995. -Vol.67. No.2. -Pp.3892-3894.
21. Салихов, Т.Х. Генерация фотоакустического сигнала двухслойными прозрачными образцами с поглощающей подложкой/ Т.Х. Салихов, Н. Меликхуджа, А. Махмалатиф. // Письма в журнал технической физики -2019. – Т.45 -№9. -С.30-31.
22. Gao, R. Nonlinear mechanism in photoacoustic - powerful tools in photoacoustic imaging/R. Gao, Z. Xu, Y. Ren, L. Song, C. Liu// Photoacoustics. – 2021. – Vol. 22. – Pp.100-243.
23. Салихов, Т.Х. Вклад температурной зависимости теплофизических параметров подложки на параметры второй гармоники фотоакустического сигнала непрозрачных сред/ Т.Х. Салихов, Д.М. Шарипов, Х.Ш. Туйчиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. – Т. 51. -№ 8. – С.588-593.
24. Салихов, Т.Х. Влияние температурной зависимости оптических величин на характеристики основной гармоники нелинейного фотоакустического сигнала твердых тел с объемным поглощением луча/ Т.Х. Салихов, Д.М. Шарифов, Х.Ш. Туйчиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011.- Т. 54.-№ 6.- С.465-472.
25. Салихов, Т.Х. Теория генерации второй гармоники нелинейного фотоакустического сигнала двухслойными непрозрачными образцами/ Т.Х. Салихов Ю.П. Ходжаев, Р.К Рахмонов//Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2014. – №1/4(153). – С.174-180.
26. Салихов, Т.Х. Теория генерации второй гармоники нелинейного фотоакустического сигнала оптически неоднородными твердыми телами / Т.Х. Салихов, А. Махмалатиф, Ю.П. Ходжаев, Р.К. Рахмонов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 58. -№ 9. – С.804-812.
27. Салихов, Т.Х. Влияние теплофизических и свойств подложки на характеристики нелинейного фотоакустического сигнала непрозрачных сред / Т.Х. Салихов, ^У Мадвалиев, Д.М. Шарифов, Х.Ш. Туйчиев // Журнал прикладной спектроскопии. – 2019. – Т.86. – № 6. – С.908-916
28. Салихов, Т.Х. К теории генерации нелинейного фотоакустического сигнала при газомикрофонной регистрации / Т.Х. Салихов, У. Мадвалиев, Д.М. Шарифов, Х.Ш. Туйчиев // Журнал технической физики. – 2021. – Т.91. - Вып.11. – С.1608-1618.

29. Григорьева, И.С. Физические величины. Справочник. / И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова // - М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 С.
30. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл // -М.: Мир, - 1975. – 935 с.
31. Латыев Л.Н. Излучательные свойства твердых тел. Справочник. / Л.Н. Латыев, В.А.Петров, В.Я. Чеховский, Е.Н. Шестаков // - М.: Энергия, -1974. – 472 с.

REFERENCES

1. Boyko, V.I. Modification of metallic materials with pulsed particle beams/ V.I. Boyko, A.N. Valyaev, A.D. Pogrebnyak // UFN. - 1999. - Т.169. -№11. - Pp.1243.
2. Vaisburd, D.I. The influence of the thermal resistance of the dielectric-metal contact on the temperature field in the dielectric during irradiation with an ion beam / D.I. Weisburd, V.F. Pichugin, M.I. Chebodaev//Izv. universities Physics. - 2001. - No. 4. - Pp.39-43.
3. Boyko, V.I. Interactions of pulsed beams of charged particles with matter / V.I. Boyko, V.A. Skvortsov, V.E. Fortov, I.V. Shamanin. // - М.: FIZMATLIT, 2003.- 288 p.
4. Chernyaev, A.P. Interaction of ionizing radiation with matter / A.P. Chernyaev // - М.: FIZMATLIT, 2004. – 152 p.
5. Komarov, F.F. Defect formation and track formation in solids under irradiation with ultra-high energy ions / F.F. Komarov // UFN. - 2003. - Т. 173. - No. 12. - Pp.1287-1318.
6. Fortov, V.E. Intense ion beams for the generation of extreme states of matter / V.E. Fortov, D. Hoffmann, B.Yu. Sharkov // UFN. - 2008. - Т.178. - No. 2. - Pp.113.
7. Komarov, F.F. Nano- and macrostructuring of solids with fast heavy ions / F.F. Komarov // UFN. - 2017. - Т. 175. - No. 5. - Pp.465-504.
8. Salikhov, T.Kh. The influence of thermal nonlinearity of thermophysical quantities on the stationary temperature field of thin films of dielectrics in the field of a continuous proton beam / T.Kh. Salikhov, A.A. Abdurakhmonov F.K. Rahimi // DAN RT. – 2016. – Т. 59.- No. 1-2. - Pp.41-45.
9. Bondarenko, V.N. Control of the temperature of polymer films when irradiated with a beam of accelerated ions / V.N. Bondarenko, A.V. Goncharov, V.I. Sukhostavets, T.Kh. Salikhov, A.A. Abdurakhmonov // East European Physical Journal. – 2017.-Т.4. No.1. - Pp.62-69.
10. Salikhov, T.Kh. Temperature field of dielectric films in the field of a continuous ion beam/T.Kh. Salikhov, A.A. Abdurakhmonov//Thermophysics and aeromechanics. – 2017.- Т.24- No. 6. - Pp.981-984.
11. Salikhov, T.Kh. On the stationary temperature field of dielectric films and substrates in the field of a continuous ion beam / T.Kh. Salikhov, A.A. Abdurakhmonov // Bulletin of TNU. – 2017.-№1/4. - Pp.77-81.
12. Salikhov, T.Kh. Formation of the temperature field of dielectric films and substrates in the field of a continuous ion beam/T.Kh. Salikhov, A.A. Abdurakhmonov // Engineering and Physical Journal. - 2018 – Т.91.- No. 6. - Pp.1497-1501.
13. Kenji Kimura. Acoustic Radiation Induced by Intensity Modulated Ion Beam / Kenji Kimura, Kenji Nakanishi, Akira Nishimura, Michihiko Mannami // Japanese Journal of Applied Physics. – 1985.- Vol. 24.- No. 6. – Pp. L449 - L450.
14. Mori, Y. Fast beam chopper with ma cores / M. Muto, C. Ohmori, Y. Shirakabe1, A. Takagi // Proceedings of EPAC 2000.- Vienna, Austria. – Pp.2468-2470.
15. Wiesner, C. Chopping high-intensity ion beams at franz / Wiesner C., M. Droba, O. Meusel, D. Noll, O. Payir, U. Ratzinger, P. Schneider // Proceedings of LINAC 2014. - Geneva, Switzerland. - Pp.765-769.
16. Lin Ai. Efficient Second Harmonic Generation of Diced Ridge Waveguides Based on Carbon Ion-irradiated Periodically Poled LiNbO3 / Lin Ai Lei Wang, Yang Tan, Shavkat Akhmadaliev, Shengqiang Zhou, and Feng Chen // Journal of Lightwave Technology. – 2016.
17. Shafiei, S. Design and Development of a Chopper for Ion Beam Current Measurement and Monitoring / Shafiei S., M. Lamchi-Rashti, Y. Vosoughi // Journal of Nuclear Research and Applications. - 2022. - No. 2(2). - Pp. 13-19.
18. Rosenwaig, A. Theory of the photoacoustic effect with solids / A. Rosenwaig, A. Gersho // J.Appl Phys. -1976. – Vol.47. No.1. -Pp.64-69.
19. Fujji, Y. Photoacoustic Spectroscopy Theory for Multi-Layered Samples and Interference Effect / Y. Fujji, A. Moritani, J. Nakai // Jpn. J. Appl. Phys. -1981.-Vol.20. No.2. -Pp. 361-367.
20. Barros, M, Faria M. Photoacoustic procedure for measuring thermal parameters of transparent solids / M. Barros, R.M. Faria //Appl. Phys. Lett -1995. -Vol.67. No.2. -Pp.3892-3894.

21. Salikhov, T.Kh. Generation of a photoacoustic signal by two-layer transparent samples with an absorbing substrate / T.Kh. Salikhov, N. Melikhuja, A. Makhmalatif. // Letters to the Journal of Technical Physics. -2019. - T.45 -No.9. - Pp.30-31.
22. Gao, R. Nonlinear mechanism in photoacoustic imaging - powerful tools in photoacoustic imaging. / R. Gao, Z. Xu, Y. Ren, L. Song, C. Liu // Photoacoustics. - 2021. - Vol. 22. - Pp.100-243.
23. Salikhov, T.Kh. Contribution of the temperature dependence of the thermophysical parameters of the substrate on the parameters of the second harmonic of the photoacoustic signal of opaque media / T.Kh. Salikhov, D.M. Sharipov, Kh.Sh. Tuychiev // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. - 2008.- T. 51.- No. 8. - Pp.588-593.
24. Salikhov, T.Kh. The influence of the temperature dependence of optical quantities on the characteristics of the fundamental harmonic of a nonlinear photoacoustic signal of solids with volumetric absorption of the beam / T.Kh. Salikhov, D.M. Sharifov, Kh.Sh. Tuychiev // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. - 2011.- T. 54.- No. 6. - Pp.465-472.
25. Salikhov, T.Kh. Theory of generation of the second harmonic of a nonlinear photoacoustic signal by two-layer opaque samples/T.Kh. Salikhov Yu.P. Khodjaev, R.K Rakhmonov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. - 2014. - No. 1/4 (153). - Pp.174-180.
26. Salikhov, T.Kh. Theory of generation of the second harmonic of a nonlinear photoacoustic signal by optically inhomogeneous solids / T.Kh. Salikhov, A. Makhmalatif, Yu.P. Khodzhaev, R.K. Rakhmonov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. - 2015.- T. 58.- No. 9. - Pp.804-812.
27. Salikhov, T.Kh. The influence of thermophysical and substrate properties on the characteristics of a nonlinear photoacoustic signal of opaque media / T.Kh. Salikhov, U. Madvaliev, D.M. Sharifov, Kh.Sh. Tuychiev // Journal of Applied Spectroscopy. - 2019. - T.86. - No. 6. - Pp.908-916
28. Salikhov, T.Kh. On the theory of generation of a nonlinear photoacoustic signal during gas microphone recording / T.Kh. Salikhov, U. Madvaliev, D.M. Sharifov, Kh.Sh. Tuychiev // Journal of Technical Physics. - 2021. - T.91.- Issue 11. - Pp.1608-1618.
29. Grigorieva, I.S. Physical quantities. Directory/ I.S. Grigorieva, E.Z. Meilikhova// - M.: Energoatomizdat, 1991. - 1232 p.
30. Siegel R. Heat transfer by radiation / R. Siegel, J. Howell // -M.: Mir, 1975. -935 p.
31. Latyev, L.N. Radioactive properties of solids. Directory. / L.N. Latyev, V.A. Petrov, V.Ya. Chekhovskiy, E.N. Shestakov // - M., Energy, 1974. - 472 p.

ХУСУСИЯТҶОИ АНГЕЗИШИ МАВҶИ ҲАРОРАТӢ ДАР НАВОРҶОИ ДИЭЛЕКТРИКӢ ҲАНГОМИ НУРБОРОНКУНӢ БО ДАСТАИ ИОНҶОИ ГАРМОНИКӢ МОДУЛЯТСИЯШУДА

Барои мавриди гармоникӣ модулятсияшудаи манбаи табдилдиҳандаи энергияи дастаи ионҳо ба гармӣ модели теплофизикии масъалаи ангеизиши мавҷҳои ҳароратӣ дар пардаҳои якҷабатаи диэлектрикӣ ташаккул дода шудааст. Бо назардошти он, ки роҳи давиши ионҳо - R аз ғафсии намуна - L хурд аст, барои тавсифи ҳодисаи таҳқиқшаванда, аз системаи муодилаҳои ғайрихаттӣ гарминузаронӣ истифода карда шудааст. Вобастагии ҳароратии бузургҳои гармофизикии ҳарду қисмҳои намуна, инчунин коэффитсиенти гармидиҳӣ ва дараҷаи сиёҳнокӣ бо воситаи коэффитсиентҳои термикӣ дар намуди хаттӣ қабул карда шудааст. Ошӯби ҳарорат дар намуди суммаи ташкилдиҳандаҳои статсионарӣ ва мавҷӣ, инчунин ташкилдиҳандаи мавҷӣ дар намуди суммаи хаттӣ ва ғайрихаттӣ ифода ёфтааст. Дар навбати худ қисми ғайрихаттӣ аз суммаи гармоникаҳои асосӣ ва дуюмӣ ташкил ёфтааст. Бо назардошти он ки тағйирёби вақтии манбаи гармӣ шакли гармоникӣ дорад, вобастагии лаппиши ҳарорат аз вақт дар муодилаҳои ибтидоӣ низ дар намуди гармоникӣ тасвир ёфтааст. Бо ҳалли масъалаи канорӣ намуди ошқори ифодаи ташкилдиҳандаи мавҷии ошӯби ҳарорат ёфта шудааст. Ошқор қарда шуд, ки вобастагии амплитудаи мавҷи ҳароратии ангешташуда аз басомад дар қабати нурбороншаванда $\propto \omega^{-1}$ ва дар қабати нурбороннашаванда $\propto \omega^{-3/2}$ аст.

Калидвожаҳо: дастаи ионҳо, дастаи ионҳои гармоникӣ модулятсияшуда, нурборонкунӣ, майдони ҳароратӣ, ғайрихаттӣ ҳароратӣ, гармигузаронӣ, наворҳои диэлектрикӣ, мавҷҳои ҳароратӣ.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН В ПЛЕНКАХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Для случая, когда источник, обеспечивающий перенос энергии ионов в тепло является гармонически модулированным по частоте сформулирована теплофизическая модель задачи возбуждение тепловых волн в однослойных диэлектрических пленках, находящемся в воздухе. С учетом того, что длина пробега ионов в пленках - R меньше толщины образца - L , для описание исследуемого явления использованы системы нелинейных уравнения теплопроводности для этих

частей образца. Температурная зависимость теплофизических величин обеих частей образца, а также коэффициента теплоотдачи и степени черноты принята в линейном виде, посредством термических коэффициентов. Возмущение температуры представлено в виде суммы стационарной и колебательной составляющей, а колебательную часть в виде суммы линейной и нелинейной. В свою очередь, нелинейную часть состоит из суммы колебания на основной и второй гармониках. Ввиду того, что временное изменение теплового источника, обусловленного поглощением потока ионов, имеет гармоническую форму, временная зависимость колебания температуры в исходных уравнениях также представлена в гармоническом виде. Решением граничной задачи получены явный вид выражения для всех частей колебательной составляющей возмущения температуры. Обнаружено, что частотная зависимость амплитуды линейного составляющего возбуждаемой тепловой волны в облучаемом слое $\propto \omega^{-1}$, в то время, как для необлучаемого слоя $\propto \omega^{-3/2}$.

Ключевые слова: ионный пучок, гармонически модулированный ионный пучок, облучение, температурное поле, тепловая нелинейность, теплопроводность, диэлектрические плёнки, тепловые волны.

FEATURE OF EXCITATION OF THERMAL WAVES IN DIELECTRIC FILMS UNDER IRRADIATION WITH A HARMONICALLY MODULATED ION BEAM

For the case when the source providing the transfer of ion energy into heat is harmonically modulated in frequency, a thermophysical model of the problem of excitation of thermal waves in single-layer dielectric diaphragms in the air is formulated. Taking into account the fact that the path length of ions in films- R is less than the thickness of the sample - L , systems of nonlinear thermal conductivity equations for these parts of the sample are used to describe the phenomenon under study. The temperature dependence of the thermophysical quantities of both parts of the sample, as well as the heat transfer coefficient and emissivity degree, is taken in linear form using thermal coefficients. Temperature disturbances are presented as the sum of stationary and oscillatory components, and the oscillatory part as the sum of linear and nonlinear. In turn, the nonlinear part consists of the sum of oscillations at the fundamental and second harmonics. Due to the fact that the temporary change in the heat source due to the absorption of the ion flow has a harmonic form, the time dependence of the temperature fluctuation in the original equations is also presented in a harmonic form. By solving the boundary value problem, an explicit form of expression was obtained for all parts of the oscillatory component of the temperature disturbance. It was discovered that the frequency dependence of the amplitude of the linear component of the excited thermal wave in the irradiated layer is $\propto \omega^{-1}$ while, as for the unteachable layer $\propto \omega^{-3/2}$.

Key words: ion beam, harmonically modulated ion beam, irradiation, thermal field, thermal nonlinearity, thermal conductivity, dielectric films, thermal waves.

Маълумот дар бораи муаллиф: Салихов Тагаймурод Ҳайтович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Институти илмӣ тадқиқотӣ, сарҳодими илмӣи шӯъбаи «Физикаи муҳитҳои конденсӣ», д.и.ф.м., профессор. Суроға: 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: (+992) 919-24-83-11. E-mail: tsalikhov@mail.ru.

Абдурахмонов Абдурахмон Абдулкадимович-Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Институти илмӣ тадқиқотӣ, ходими калони илмӣи шӯъбаи «Физикаи муҳитҳои конденсӣ», Суроға: 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: 93-707-05-90. E-mail: abdurahmoni.abdukadim@mail.ru

Сведения об авторах: Салихов Тагаймурод Ҳайтович – Таджикский национальный университет, Научно-исследовательский институт, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник отдела «Физики конденсированного состояния». Адрес: 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Телефон: (+992) 919-24-83-11. E-mail: tsalikhov@mail.ru.

Абдурахмонов Абдурахмон Абдулкадимович - Таджикский национальный университет, Научно-исследовательский институт, старший научный сотрудник отдела «Физики конденсированного состояния». Адрес: г. 734042, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. Телефон. 93-707-05-90. E-mail: abdurahmoni.abdukadim@mail.ru .

Information about the authors: Salikhov Tagaymurod Haitovich – Tajik National University, Research Institute, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Department of «Condensed Matter Physics». Address: 734042, Dushanbe, Rudaki, Avenue 17. Phone: (+992) 919-24-83-11. E-mail: tsalikhov@mail.ru.

Abdurahmonov Abdurahmon Abdulqadimovich - Tajik National University, Research Institute, senior researcher at the Department of «Condensed Matter Physics». Address: 734025, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. Phone: 93-707-05-90. E-mail: abdurahmoni.abdukadim@mail.ru .

УДК: 523.6

ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ КОМЕТЫ C/2020 F3 NEOWISE

Сафаров А.Г., Хикматуллоев С. Дж.

Таджикский национальный университет,

Российский – Таджикский (Славянский) университет

Введение. Кометы являются ключом к пониманию нашей Солнечной системы, ее формирования и эволюции, а также к основным процессам, действующие как в нем, так и за его пределами. Ядро кометы излучает газ нагретым солнечным излучением [1, 2]. В результате ионизации у кометы образуется кома, при бомбардировке солнечных протонов у большинства комет образуется плазменный хвост. Помимо этих нейтральных и ионизированных газов, в коме комет существует многочисленные по размеру и составу пылинки, который были выброшены в результате сублимации [3].

При взаимодействии с солнечным ветром у комет образуется две типы плазмы: легкие ионы образующий плазменный хвост и кометная плазма, наиболее тяжелых ионов, образующий атмосферу кометы. Нейтральный газ из-за небольших размеров ядра кометы (0,1-10 км) [4] не связан с гравитацией, поэтому нейтралы и ионы часто расширяются в около кометном пространстве.

Кометная пыль-космическая пыль кометного происхождения [4] может дать информацию о времени формирования комет, а следовательно, как считают, времени формирования Солнечной системы [5]. В частности, долгопериодические кометы большую часть времени находятся далеко от Солнца, где температура среды слишком низкая, чтобы происходило испарение. Лишь приближаясь к Солнцу и теплу, комета высвобождает доступные для наблюдений и исследований газ и пыль [6]. Кометные пылинки становятся видимыми благодаря рассеянию ими солнечного излучения. Также некоторая часть солнечной энергии поглощается и излучается в инфракрасном диапазоне. Яркость отражающей поверхности (каковой является пылинка) пропорциональна её освещённости и отражательной способности. А освещённость от точечного или сферически симметричного источника (которым является Солнце) меняется обратно пропорционально квадрату расстояния от него. Если предположить сферичность пылинки, количество отраженного света зависит от поперечного сечения проекции формы пылевой частицы, а следовательно, пропорциональна квадрату её радиуса.

Кометная пыль является неоднородной смесью кристаллических и аморфных (стеклообразных) силикатов (наиболее распространенными являются форстерит (Mg_2SiO_4) и энстатит ($MgSiO_3$), оливин ($Mg, Mn, Fe)_2 [SiO_4]$) и пироксены (группа минералов подкласса цепочечных силикатов), органических огнеупорных материалов (из элементов H, C, O и N) [4], незначительного количества оксидов, а также других составляющих, таких как сульфид железа. Наиболее интересный результат, полученный в исследованиях кометы 81P/Вильда 2, выявление огнеупорных кальций-алюминиевых включений, аналогичных тем, которые содержатся в примитивных метеоритах [7].

Методика работы и постановка задач. Кометная пыль движется преимущественно под воздействием двух сил [4, 8]: солнечной гравитации и давления солнечного излучения. Ускорение, вызванное давлением солнечного излучения (F_{rad}), в целом принято измерять в единицах ускорения, вызванного солнечной гравитацией (F_{gr}) на том же расстоянии. Для движение заряженных пылевых частиц в атмосферы кометы мы рассматриваем влияние следующих сил: сила гравитации, радиационное давление, сила Лоренца и сила инерции

$$F_{gr} = - \frac{GMmr}{r^2} \quad (1)$$

$$F_{em} = \frac{q}{m} (-V_{sw}B + V_d B) \quad (2)$$

$$F_{rad} = \frac{I_{sc} R_s^2 \pi \frac{d^2}{4} \frac{r}{r^2}}{c} = \frac{\pi I_{sc} R_s^2 d^2 r}{4r^2 c} \quad (3)$$

где G - гравитационная постоянная, M - масса Солнца, q и m - заряд и масса пылевой частицы, r - пространственное положение пылевой частицы, V_{sw} – скорость солнечного ветра, V_d – скорость пылевой частицы. В формуле мы на место магнитное состояние E_{sw} заменили электрическое поле - $V_{sw} \times B$, I_{sc} - солнечная постоянная, 1366 Вт/м², R_s - радиус Солнца, c - скорость света, а d - диаметры пылевых частиц выброшенных из ядер комет.

Принимая во внимание работы Fulle [8] получаем соотношение радиационного давления и солнечной гравитации:

$$\beta = \frac{F_{rad}}{F_{gr}} = \frac{3\pi ER^3}{2GMcd\delta} \sim \frac{1}{a} \quad (4)$$

Выражение для этой безразмерной величины, $\beta = F_{rad}/F_{gr}$ имеет такой вид: $\beta = 0,57 Q_{pr}/\delta a$, где, δ - плотность пылинки, выраженная в граммах на кубический сантиметр, a - радиус пылинки, в микрометрах, Q_{pr} - эффективность радиационного давления, которое зависит от размера, формы и оптических характеристик пылинки. Для кометной пыли эффективность радиационного давления обычно порядка единицы [8]. Если построить зависимость β от радиуса частицы, то максимальное значение β для разных материалов, имеющих в хвосте кометы, достигается при значениях радиуса, лежащих в диапазоне 0,1-0,2 мкм. Следовательно, для частиц $a \geq 0,2$ мкм, Q_{pr} остаётся примерно неизменным, а значение β пропорционально a^{-1} [8].

Идея, существование заряженных пылевых частиц приведено в работах Марочника [9], и Шульмана [10]. По мнению Марочника, на пылевые частицы действуют протоны солнечного ветра. Но Шульман считает, что в атмосферах комет действия солнечных протонов зависит от типа кометы. Например, у динамически новых комет запас летучих веществ очень много, а у короткопериодических мало [1]. Взаимодействие двух потоков (кометного и солнечного ветра) в принципе можно описать с помощью представления о нагруженной массой плазме. Добавление медленных тяжелых кометных ионов к высокоскоростному солнечному ветру приводит к модификации плазмы как кометного, так и солнечного ветра. Степень, в которой солнечный ветер загружен массой, зависит от количества кометных ионов, производимых в секунду, что, в свою очередь, зависит от скорости дегазации кометных нейтралов. Оба в основном антикоррелированы с гелиоцентрическим расстоянием кометы, хотя также могут быть небольшие вариации в зависимости от других параметров.

По исследовании [1, 4, 7] установлено, что существует зависимость скорости нейтральных газов под воздействием корпускулярных потоков. По известным миссиям как ВЕГА, Giotto и Stardust к кометам 1P/Halley, 19P/Borrelly и 21P/Grigg-Skjellerup определено границы ударной волны. Для вышеуказанных комет $Q > 5 \times 10^{27} \text{ с}^{-1}$. По результаты исследований [1] данные кометы являются сильно активные. Например, состояние заряда отрицательной пылинки радиусом 1 мм возрастает с $6,63 \cdot 10^5$ до $6,86 \cdot 10^5$ для ионов и электронов с энергией 1 эВ в магнитном поле 10 Гс. При более высокой энергии плазмы с энергией 10 эВ заряд пыли увеличивается с $6,63 \cdot 10^6$ до $6,70 \cdot 10^6$ из-за воздействия магнитного поля.

Вопросу влияния наэлектризованности пылевых частиц на их движение благодаря взаимодействию с межпланетным магнитным полем уделяли внимание в частности Уоллис и Хасан [11], а также Гораний и Мендис [12]. Они пришли к выводу, что ускорение [11, 12], вызванное силой Лоренца для частиц $a = 0,3$ мкм

незначительно, для частиц $a = 0,1$ мкм сравнимо с силой давления солнечного излучения, а для частиц с $a \leq 0,03$ мкм оно преобладает.

В общем, кометная пыль в атмосфере под действием корпускулярного потока солнечного ветра получает или теряет заряд под действием следующих основных эффектов: присоединение электронов и ионов плазмы, что наиболее эффективно при низких температурах плазмы; вторичная электронная эмиссия, которая эффективна при более высоких температурах плазмы ($> 10^5$ К); потеря электрического заряда из-за фотоэлектрического эффекта, что играет важную роль в плазме низкой плотности ($< 10^3$ см⁻³).

Подводя итоги, нами для исследования движения частиц в атмосфере комет подставится следующая задача: движения крупных (метеороидных) частиц в атмосфере комет.

Известно, что крупные пылевые частицы из ядер комет выбрасываются в результате крупного вспышка блеска, который сопровождается интенсивного выброса пылевых частиц из локальных частей поверхности ядра. Иногда этот процесс приводит к формированию аномального хвоста или разрушения самого ядра кометы. По результатам исследований Ибадинова и Рахмонова [13, 14], Сафарова и Гулиева [15-17] установлено, что в большинстве случаев причиной вспышка блеска являются столкновение метеороидных роев с ядрами комет. Авторами [16] установлено, что условия столкновения ядер 57 комет, имеющих аномальный хвост с известными метеорными потоками, столкнулись с более 100 метеорными потоками. Было выявлено, что 113 случаев вспышки яркости у ядер 57 комет [16]. Вспышка ядер привели к образованию аномального хвоста, образованию синхрон и синдинами в пылевых хвостах комет, газопылевых струй [15], разрушению ядер [17], а также другим крупномасштабным явлениям, проходящим в кометах. Оказалось, по результатам [15], что скорость выброса метеороидных частиц аномального хвоста достигают от 0,5 до 1,5 км/с. Размеры пылевых частиц аномального хвоста достигают 10^{-2} см и более. Поэтому исследование крупных частиц в атмосфере является наиболее актуальным.

Для исследования крупных частиц и их движение в атмосфере комет нами выбраны две кометы. Первая кометы – долгопериодическая комета C/2020 F3 NEOWISE который наблюдался Сафаровым А.Г. с 23 по 27 июля 2020 года вторая комета – короткопериодическая комета семейства Юпитера 67P/Чурюмова-Герасименко наблюденный с 5 по 8 октября 2021 года. Причиной выбора этих комет заключается в том, что комета C/2020 F3 NEOWISE формировался в перифериях Солнечной системы и запас летучих веществ очень много. Вторая комета – короткопериодическая и оно формировался во внутри Солнечные системы. Известно, что у короткопериодических комет со времени появляется тугоплавкая корка, поэтому интенсивность испарения летучих веществ с годами уменьшается [13, 14].

Наблюдения комет и полученные результаты. Долгопериодическая комета C/2020 F3 NEOWISE наблюдалась в Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики НАНТ с 23 по 27 июля 2020 года. Наблюдение выполнено с помощью телескопа АЗТ-8. На фокусе Ньютона телескопа установлена ПЗС-камера FLI PROLINE 9000 с использованием широкополосных фотометрических фильтров системы Джонсона-Козинса – *BVRI*. Размер и поле зрения ПЗС-камеры на АЗТ-8 составляет 3053×3056 пикселей и $44,7 \times 44,7$ минутной дуги. ПЗС-камера была охлаждена до -20 °С и время экспозиции продлено до 120 секунд. В основном цифровые изображения кометы получены на фильтрах *RI*.

Таблица 1. Наблюдательные параметры кометы C/2020 F3 NEOWISE
Table 1. Observational parameters of comet C/2020 F3 NEOWISE

Время наблюдения	r , a.e.	ρ , a.e.	R , a.e.	L_{\odot} , градус	L_{\oplus} , градус
23.07.2020	0,630	0,692	1,00522	29,75	209,15
25.07.2020	0,646	0,744	1,00621	32,57	212,65
26.07.2020	0,663	0,770	1,00646	33,51	213,52
27.07.2020	0,680	0,796	1,00672	34,45	214,49

В таблице 1 приведены: время наблюдения, r – гелиоцентрическая и ρ – геоцентрическое расстояние кометы от Солнца и Земли, R – истинное расстояние Земли от Солнца, L_{\odot} – долгота Солнца и L_{\oplus} – долгота Земли во время наблюдения кометы.

Для выявления движение пылевых частиц в атмосфере комет, была принята модель сильно запыленной атмосфере. В этой модели кроме силы солнечной радиации (F_{rad}), и силы тяготения (F_{gr}), наиболее важную роль играет сила Лоренца (F_{Lr}). Дело в том, что в около ядерном космическом пространстве важную роль играют мелкие частицы, так как функция распределения частиц по размерам резко увеличивается с уменьшением радиуса пылинки. Поскольку в нашу работу важную роль играют метеороидные частицы, то плотность этих частиц не менее $2,5 \text{ г/см}^3$ (в примере графитовые частицы).

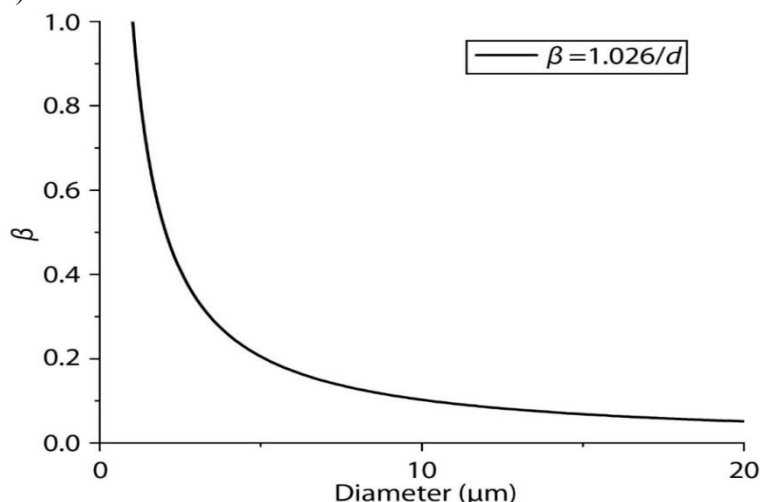


Рисунок 1. Связь между отношением давления солнечного излучения к солнечной гравитации (β) и диаметром пылевых частиц

Figure 1. Relationship between the ratio of solar radiation pressure to solar gravity (β) and the diameter of dust particles

По нашим расчетам, принимая во внимание формулу 4, эффективное ускорения пылевых (графитовых) частиц достигает $\beta = 2,2$. По мнению Шульмана [10], пылинки поглощают энергии 2,4 и 1,45, в силу этого мощность поглощения $\approx 4,2 \times 10^{11} \text{ а}^3 \text{ эрг/с}$.

Исследования [18] проводимой с помощью 30-метрового телескопа Института миллиметровой радиоастрономии (IRAM) и телескопа Northern Extended Millimeter Array (NOEMA) 22, 25-27 июля и 7 августа 2020 г. были определены, объемный газо-производительность таких элементов как HCN, HNC, CH₃OH CS, H₂CO, CH₃CN, H₂ S и CO. Принимая во внимание исследований проводимое авторами [18] по методу Wurm [18] была определена газо - производительность, даты наблюдения (см. таб. 1), установлено, что для молекулы воды скорость газо - производительность составляет от $5,49$ до $6,12 \times 10^{29}$ молекула в секундах. Результаты вычисление эффективное ускорение, заряженных частиц и других параметров частицы приведены в таблицы 2.

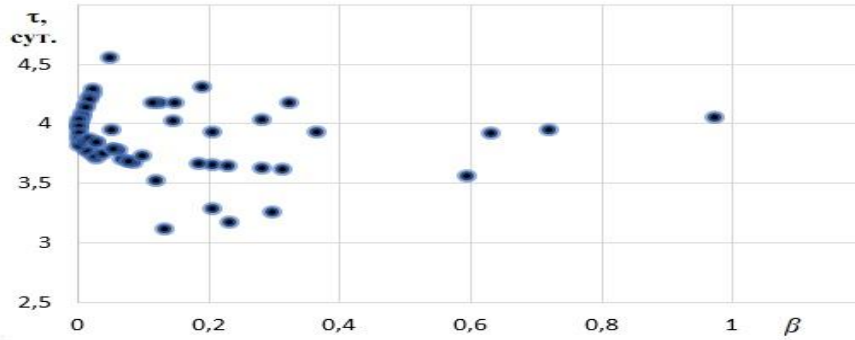


Рисунок 2. Зависимость возраста пылевых частиц τ от эффективного ускорения β
Figure 2. Dependence of the age of dust particles τ on the effective acceleration β

В рисунке 2 показано положение частиц в зависимости от возраста и эффективного ускорения. Интенсивность группировки частиц говорят о сильном выбросе при прохождении кометы точку перигелия орбиты. Известно, что на близких расстояниях комет к Солнцу обычная сублимация превращается в последовательные взрывы поверхности ядра.

Table 2. Physical parameters of the particle of comet C/2020 F3 NEOWISE
Таблица 2. Физические параметры частицы кометы C/2020 F3 NEOWISE

F_{rad} [H]	F_{gr} [H]	F_{Lr} [H]	β	q_e [Кл]
$\delta = 0.7 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, $Q_{pr} = 2$, $q = 1,16 \times 10^{-16}$ Кл, $V_{sw} = 300 \text{ км/с}$, $m = 2,093 \times 10^{-15} \text{ кг}$, $a = 1 \times 10^{-6} \text{ м}$				
$0,1650 \times 10^7$	$0,2462 \times 10^6$	$0,5077 \times 10^{-7}$	6,7016	$0,55 \times 10^{-17}$
$0,3713 \times 10^9$	$0,3693 \times 10^9$	$0,7645 \times 10^{-21}$	2,6061	$0,83 \times 10^{-16}$
$0,6601 \times 10^{11}$	$0,4925 \times 10^{12}$	$0,4366 \times 10^{-14}$	1,5637	$1,11 \times 10^{-13}$
$0,1031 \times 10^{12}$	$0,6156 \times 10^{12}$	$0,4089 \times 10^{-21}$	1,2345	$1,38 \times 10^{-13}$
$\delta = 1,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, $Q_{pr} = 2$, $q = 1,66 \times 10^{-15}$ Кл, $V_{sw} = 500 \text{ км/с}$, $m = 2,826 \times 10^{-11} \text{ кг}$, $a = 1,5 \times 10^{-5} \text{ м}$				
$0,1491 \times 10^7$	$0,2223 \times 10^6$	$0,8462 \times 10^{-6}$	6,7016	$0,55 \times 10^{-17}$
$0,3357 \times 10^9$	$0,3335 \times 10^9$	$1,274 \times 10^{-19}$	2,6061	$0,83 \times 10^{-16}$
$0,5961 \times 10^{11}$	$0,4445 \times 10^{12}$	$0,727 \times 10^{-14}$	1,5637	$1,11 \times 10^{-13}$
$0,9313 \times 10^{11}$	$0,5558 \times 10^{12}$	$0,682 \times 10^{-11}$	1,2345	$1,38 \times 10^{-13}$
$\delta = 3 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, $Q_{pr} = 2$, $q = 2,22 \times 10^{-14}$ Кл, $V_{sw} = 700 \text{ км/с}$, $m = 1,17 \times 10^{-7} \text{ кг}$, $a = 2 \times 10^{-4} \text{ м}$				
$0,1490 \times 10^7$	$0,2342 \times 10^6$	$1,1841 \times 10^{-5}$	6,7016	$0,55 \times 10^{-17}$
$0,3352 \times 10^9$	$0,3513 \times 10^8$	$1,783 \times 10^{-19}$	2,6061	$0,83 \times 10^{-16}$
$0,5960 \times 10^{11}$	$0,4684 \times 10^{12}$	$1,018 \times 10^{-12}$	1,5639	$0,16 \times 10^{-14}$
$0,9313 \times 10^{11}$	$0,5855 \times 10^{12}$	$0,954 \times 10^{-21}$	1,2306	$0,13 \times 10^{-14}$
$\delta = 3,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, $Q_{pr} = 2$, $q = 2,77 \times 10^{-14}$ Кл, $V_{sw} = 900 \text{ км/с}$, $m = 2,48 \times 10^{-7} \text{ кг}$, $a = 2,5 \times 10^{-4} \text{ м}$				
$0,1496 \times 10^7$	$0,2113 \times 10^6$	$1,523 \times 10^{-5}$	6,7016	$0,55 \times 10^{-17}$
$0,3187 \times 10^9$	$0,3176 \times 10^9$	$2,293 \times 10^{-19}$	2,6068	$0,83 \times 10^{-16}$
$0,5666 \times 10^{11}$	$0,4227 \times 10^{12}$	$1,309 \times 10^{-12}$	1,5679	$0,11 \times 10^{-14}$
$0,8853 \times 10^{11}$	$0,5284 \times 10^{12}$	$1,226 \times 10^{-19}$	1,2406	$0,13 \times 10^{-14}$

В таблице 2 приведены расчеты влияние солнечной радиации, силы гравитации, сила Лоренца, эффективное ускорения и заряженная частица с различными

параметрами на движение частицы. При изменении некоторых параметров, значения эффективного ускорения почти не меняется. Скорее всего, начальный импульс был очень сильным. Только в результате действия силы Лоренца, частицы медленно, искривляя свою орбиту движется в около ядерном пространстве. Такие результаты были получены для других комет, например, для кометы C/2006 P1 и C/1995 O1 [20-22]. Авторам [20] установлено, что на частицы сильно влияет корпускулярный поток солнечного ветра.

Солнечные вспышки — это крупные выбросы электромагнитного излучения Солнца, длящиеся от минут до часов. Внезапный выброс электромагнитной энергии распространяется со скоростью света. Солнечные вспышки обычно происходят в активных областях, то есть в областях на Солнце, отмеченных наличием сильных магнитных полей, обычно ассоциируется с группами солнечных пятен. По мере развития этих магнитных полей они могут достигать точки неустойчивости и высвобождать энергию в различных формах. К ним относится электромагнитное излучение, которое наблюдается в виде солнечных вспышек. Интенсивность солнечных вспышек охватывает большой диапазон и классифицируется по максимальному излучению в спектральной полосе 0,1–0,8 нм (мягкое рентгеновское излучение) NOAA/GOES XRS. Уровни потока рентгеновского излучения начинаются с уровня «А» (номинально начиная с 10^{-8} Вт/м²). Следующий уровень, в десять раз выше, — уровень «В» ($\geq 10^{-7}$ Вт/м²), затем следуют вспышки «С» (10^{-6} Вт/м²), вспышки «М» (10^{-5} Вт/м²) и, наконец, вспышки «Х» (10^{-4} Вт/м²) [23].

Поэтому значения солнечного ветра для каждой даты наблюдения менялось. Связи с этим частицы, обращая вокруг кометы, получали определенный заряд при бомбардировке протонов солнечного ветра. Дело в том, что энергия таких заряженных частиц лежит в пределах $10^{27} - 10^{29}$ эрг/с. При бомбардировке происходит ионизация тугоплавкие частицы приобретают новую жизнь. Как видно из результатов таблицы 2, частицы получившие заряды меняют свою орбиту. На таком расстоянии ядра кометы от Солнца происходит сильное сублимация, который часто превращается взрывы, как видно из рисунка 2. Именно в результате сильных выбросов из локальных частей ядра, произошел большой выброс. В результате были выброшены различные вещества обнаруженные авторами [18].

По результатам исследования Бобоева [24] установлено, что эффективные ускорения пылевых частиц в пылевом хвосте кометы C/2020 F3 NEOWISE лежит в диапазоне от 0,01 до 0,6 что свидетельствует об разнообразии пылевых частиц. Если полагать, что частицы были выброшены при интенсивном процессе из локальных частей поверхности ядра кометы, то полученные результаты являются приемлемым. По спектральному наблюдению [25] установлено, что выброшенные частицы достигали скорости 1,2 км/с.

Выводы. По наблюдению долгопериодической кометы C/2020 F3 NEOWISE, который наблюдали с 23 по 27 июля 2020 исследовано движение частиц в атмосфере. Для оценки движения пылевых частиц в атмосфере комет, была принята модель, сильно запыленная атмосфера. В рамках этой модели кроме силы солнечной радиации (F_{rad}), и силы тяготения (F_{gr}), была учтено влияние сила Лоренца (F_{Lr}) на движение пылевую частицу. Установлено, что при сублимации скорость газо - производительность составляет от 5,49 до $6,12 \times 10^{29}$ молекула в секундах. Значение эффективное ускорения пылевых (для графитовых частиц плотностью $2,5$ г/см³) частиц достигает $\beta = 2,2$. При бомбардировке корпускулярных потоков некоторые частицы распыляются (энергия электромагнитного излучения Солнца 4×10^{33} эрг/с). Только тугоплавкие частицы обретают новую жизнь, меняя своё положение на около ядерном пространстве кометы. В дальнейшем такие частицы достигают пылевого хвоста,

формирую синхроны, который зарегистрированы Манзини с коллегами [20] у кометы C/2020 F3 NEOWISE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goetz, C. Cometary plasma science / C. Goetz, H. Gunell, M. Volwerk, et al. // *Experimental Astronomy*. – 2022. – Vol. 54. – Pp. 1129–1167. <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09783-z>.
2. Biermann, L. Kometen schweife und solare Korpuskular strahlung / L. Biermann // *Zeitschrift für Astrophysik*. – 1951. – Vol. 29. – Pp. 274 – 285.
3. The birth and growth of a solar wind cavity around a comet / E. Behar, H. Nilsson, M. Alho, C. Goetz, B. Tsurutani / *Rosetta observations* // *MNRAS* – 2017. – Vol. 469. Pp. S396–S403. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx868>
4. Swamy, K. *Physics of Comets (3rd Edition)* / K. Swamy. – Word Scientific series in Astron. and Astrophys. – 2010. – Vol. 12. – 445 p.
5. Grun, E. Orbital and physical characteristics of micrometeoroids in the inner Solar system as observed by Helios-1 / E. Grun, N. Pailer, H. Fechtig, J. Kissel // *Planet. Space Sci.* – 1980. – Vol. 28. – Pp. 333-349.
6. Wesolowski, M. Selected mechanisms of matter ejection out of the cometary nuclei / M. Wesolowski, P. Gronkowski, I. Tralle // *Icarus*. – 2020. – Vol. 318. – Pp. 1-10.
7. Keller, H. Cometary Nuclei- From Giotto to Rosetta / H. Keller; E. Kühr / *Space Science Reviews*. – 2020. – Vol. 216. – Pp. 14 (1-26). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-0634-6>
8. Fulle, M. Motion of cometary dust / M. Fulle // *Comets II*. Ed. by M. C. Festou, H. U. Keller, H. A. Weaver (Univ. Arizona Press, Tucson, 2004). – 2004. – Pp. 565-575.
9. Марочник, Р.С. Магнита гидродинамические явления в кометах и связь их с геоактивными потоками / Р.С. Марочник // *Успехи физических наук*. – 1964. – №2. – С. 221-249.
10. Шульман, Л.М. Динамика кометных атмосфер-нейтральных газ. Киев, Наукова Думка. – 1972. – 244 с.
11. Wallis, M.K. Electrodynamics of submicron dust in the cometary coma / M.K. Wallis, H.A. Hassan // *Astronomy and Astrophysics*. – 1983. – Vol. 121. – Pp. 10-14.
12. Mendis, D.A. Dusty plasma effects in comets: expectations for Rosetta / D.A. Mendis, M. Horany // *Reviews of Geophysics*. – 2013. – Vol. 51. – Pp. 53-75.
13. Ibadinov, Kh.I. Laboratory studies of gas-dust jets formation on cometary nucleus surface / Kh.I. Ibadinov, A.A. Rahmonov // *Adv. Space Res.* – 2002. – Vol. 29. – Pp. 705-708.
14. Рахмонов, А.А. Эволюция ядер комет на основе результатов лабораторного моделирования и космических исследований/А.А. Рахмонов, Х.И. Ибадинов, А.Г. Сафаров//*Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. – 2017. – №1/3. – С. 149-154.
15. Safarov, A. G. Conditions for the formation of anomalous tail of comet / A. G. Safarov, K. I. Ibadinov // *Open Astronomy*. – 2019. – Vol. 28. – No. 1. – Pp. 131-144. – DOI 10.1515/astro-2019-0009.
16. Сафаров, А. Г. Столкновения ядер комет с метеорными потоками / А. Г. Сафаров, А. С. Гулиев // *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. – 2022. – № 2. – С. 174-184.
17. Guliyev, A. Collisions with meteoroid streams as one possible mechanism for the formation of hyperbolic cometary orbits / A.S. Guliev, N. Shaig // *Advances in Space Research*. – 2017. – Vol. 60. – Iss. 1. – Pp.199-203.
18. Biver, N. Observations of comet C/2020 F3 (NEOWISE) with IRAM telescopes / N. Biver, J. Boissier, D. Bockelée-Morvan, J. Crovisier, H. Cottin, M. A. Cordiner, N. X. Roth, R. Moreno // *Astronomy and Astrophysics*. – 2022. – Vol. 668 – Pp. A171 (1-18). DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244970>.
19. Wurm, K. *The Physics of Comets* // In: *The Moon, Meteorites, and Comets* (B.M. Middelhurst and G.B. Kuiper eds.). – Chicago and London: University Chicago Press. – 1963. – Pp. 573-617.
20. Manzini, F. Coma morphology and dust emission pattern of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / F. Manzini, V. Oldani, P. Ochner, E. Barbotin, L. R. Bedin, R. Behrend, G. Fardelli // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 506. – Pp. 6195-6202. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1849>.
21. Price, O. Fine-scale structure in cometary dust tails I: Analysis of striae in Comet C/2006 P1 (McNaught) through temporal mapping / O. Price, G. H. Jones, J. Morrill, M. Owens, K. Battams, H. Morgan, M. Drückmüller, S. Deiries // *Icarus*. – 2019. – V. 319. – Pp.540-557.
22. Kramer, E. A. A dynamical analysis of the dust tail of comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) at high heliocentric distances / E. A. Kramer, Y. R. Fernandez, C. M. Lisse, M. S. Kelley, L. M. Woodney // *Icarus*. – 2014. – Vol. 236. – Pp. 136-145. [10.1016/j.icarus.2014.03.033](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.03.033).
23. Бруевич, Е.А. Циклическая активность Солнца по наблюдениям индексов активности на разных временных шкалах / Е.А. Бруевич, Г.В. Якунина // *Вестник МГУ, серия 3, физика, астрономия*. – 2015. – №4. – С. 66-74.

24. Бобоев, Ш.С. Таҳқиқи синхронаҳои думи чангини кометай C/2020 F3 (NEOWISE) / Ш.С. Бобоев // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2023. – № 2. – С.
25. Bischoff, R. Follow-up spectroscopy of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / R. Bischoff, M. Mugrauer // *Astron. Nachr.* – 2021. – Pp. 1-7. – DOI: 10.1002/asna.202113961.

REFERENCES

1. Goetz, C. Cometary plasma science / C. Goetz, H. Gunell, M. Volwerk, et al. // *Experimental Astronomy*. – 2022. – Vol. 54. – Pp. 1129–1167. <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09783-z>.
2. Biermann, L. Kometen schweife und solare Korpuskular strahlung / L. Biermann // *Zeitschrift für Astrophysik*. – 1951. – Vol. 29. – Pp. 274 – 285.
3. Behar, E. The birth and growth of a solar wind cavity around a comet / E. Behar, H. Nilsson, M. Alho, C. Goetz, B. Tsurutani / *Rosetta observations* // *MNRAS*. – 2017. – Vol. 469. – Pp. S396–S403. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx868>.
4. Swamy, K. *Physics of Comets (3rd Edition)* / K. Swamy. – Word Scientific series in *Astron. and Astrophys.* – 2010. – Vol. 12. – 445 p.
5. Grun, E. Orbital and physical characteristics of micrometeoroids in the inner Solar system as observed by Helios-1 / E. Grun, N. Pailer, H. Fechtig, J. Kissel // *Planet. Space Sci.* – 1980. – Vol. 28. – Pp. 333-349.
6. Wesolowski, M. Selected mechanisms of matter ejection out of the cometary nuclei / M. Wesolowski, P. Gronkowski, I. Tralle // *Icarus*. – 2020. – Vol. 318. – Pp. 1-10.
7. Keller, H. Cometary Nuclei- From Giotto to Rosetta / H. Keller; E. Kürt // *Space Science Reviews*. – 2020. – Vol. 216. – Pp. 14 (1-26). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-0634-6>.
8. Fulle, M. Motion of cometary dust / M. Fulle // *Comets II*. Ed. by M. C. Festou, H. U. Keller, H. A. Weaver (Univ. Arizona Press, Tucson, 2004). – 2004. – Pp. 565-575.
9. Marochnik, R.S. Magnit, hydrodynamic phenomena in comets and their connection with geosynchronous flows / R.S. Marochnik // *Uspekhi fizicheskikh nauk*. – 1964. – No. 2. – Pp. 221-249.
10. Shulman, L.M. *Dynamics of cometary atmospheres-neutral gases*. Kyiv, Naukova Dumka. – 1972. – 244 p.
11. Wallis, M.K. Electrodynamics of submicron dust in the cometary coma / M.K. Wallis, H.A. Hassan // *Astronomy and Astrophysics*. – 1983. – Vol. 121. – Pp. 10-14.
12. Mendis, D.A. Dusty plasma effects in comets: expectations for Rosetta / D.A. Mendis, M. Horany // *Reviews of Geophysics*. – 2013. – Vol. 51. – Pp. 53-75.
13. Ibadinov, Kh.I. Laboratory studies of gas-dust jets formation on cometary nucleus surface / Kh.I. Ibadinov, A.A. Rahmonov // *Adv. Space Res.* – 2002. – Vol. 29. – Pp. 705-708.
14. Rakhmonov A. A. Evolution of comet nuclei based on the results of laboratory modeling and space research / A. A. Rakhmonov, Kh. I. Ibadinov, A. G. Safarov // *Bulletin of the Tajik National University, series of natural sciences*. – 2017. – No 1/3. – Pp. 149-154.
15. Safarov, A. G. Conditions for the formation of anomalous tail of comet / A. G. Safarov, K. I. Ibadinov // *Open Astronomy*. – 2019. – Vol. 28. No. 1. – Pp. 131-144. – DOI 10.1515/astro-2019-0009.
16. Safarov, A. G. Collision for comet nuclei with meteor streams / A. G. Safarov, A.S. Guliev // *Bulletin of the Tajik National University, a series of natural Sciences*. – 2022. – No 2. – Pp. 174-184.
17. Guliyev, A. Collisions with meteoroid streams as one possible mechanism for the formation of hyperbolic cometary orbits / A.S. Guliev, N. Shaig // *Advances in Space Research*. – 2017. – Vol. 60. – Iss. 1. – Pp.199-203.
18. Biver, N. Observations of comet C/2020 F3 (NEOWISE) with IRAM telescopes / N. Biver, J. Boissier, D. Bockelée-Morvan, J. Crovisier, H. Cottin, M. A. Cordiner, N. X. Roth, R. Moreno // *Astronomy and Astrophysics*. – 2022. – Vol. 668 – Pp. A171 (1-18). DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244970>
19. Wurm, K. *The Physics of Comets* // In: *The Moon, Meteorites, and Comets* (B.M. Middelhurst and G.B. Kuiper eds.). – Chicago and London: University Chicago Press. – 1963, – Pp. 573-617.
20. Manzini, F. Coma morphology and dust emission pattern of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / F. Manzini, V. Oldani, P. Ochner, E. Barbotin, L. R. Bedin, R. Behrend, G. Fardelli // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 506. – Pp. 6195-6202. – <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1849>.
21. Price, O. Fine-scale structure in cometary dust tails I: Analysis of striae in Comet C/2006 P1 (McNaught) through temporal mapping / O. Price, G. H. Jones, J. Morrill, M. Owens, K. Battams, H. Morgan, M. Drückmüller, S. Deiries // *Icarus*. – 2019. – Vol. 319. – Pp. 540-557.
22. Kramer, E. A. A dynamical analysis of the dust tail of comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) at high heliocentric distances / E. A. Kramer, Y. R. Fernandez, C. M. Lisse, M. S. Kelley, L. M. Woodney // *Icarus*. – 2014. – Vol. 236. – Pp. 136-145. [10.1016/j.icarus.2014.03.033](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.03.033).
23. Bruevich, E.A. The cyclic activity of the Sun from observations of the activity indices at different time scales / E.A. Bruevich, G.V. Yakunina // *Bulletin of Moscow State University, series 3, physics, astronomy*. – 2015. – No. 4. – Pp.66-74.

24. Boboev, Sh.S. Study of the synchron of the dust tail of comet C/2020 F3 NEOWISE / Sh. S. Boboev // Bulletin of the Tajik National University, a series of natural Sciences.– 2023. – No 2. – Pp.

25. Bischoff, R. Follow-up spectroscopy of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / R. Bischoff, M. Mugrauer // Astron. Nachr. – 2021. – Pp.1-7. – DOI: 10.1002/asna.202113961.

ХАРАКАТИ ЧАНГҲОИ ЗАРЯДНОК ДАР АТМОСФЕРАИ КОМЕТАИ C/2020 F3 NEOWISE

Дар мақола аз рӯи мушоҳидаи кометаи дароздаври C/2020 F3 NEOWISE дар Расадохонаи астрономии Ҳисори Институти астрофизикаи АМИТ аз 23 то 27 июли соли 2020 ҳаракати чанг дар атмосфера омӯхта шуд. Мушоҳидаи кометаи C/2020 F3 NEOWISE дар телескопи АЗТ 8 гузаронида шуд. Дар қонуни Нютони телескоп асбоби нимнокили барқии навъи FLI PROLINE 9000 бо филтрҳои фотометрии системаи Чонсон-Козинс – BVRI гузаронида шуд. Андоза ва майдони камера дар телескопи АЗТ-8 ба 3053×3056 пикселей ва 44,7×44,7 дақиқкаи камонӣ баробар аст. Барои ба сифат баромадани тасвири комета камера то ҳарорати – 20 °C ва фосилаи расмгири ба 120 сония зиёд карда шуд. Асосан барои таҳқиқ тасвирҳои рақамии филтрҳои RI интихоб карда шудаанд. Муқаррар карда шуд, ки суръати газихроҷшавӣ дар ҳудуди аз 5,49 то 6,12×10²⁹ молекула дар сония меҳобад. Қимати шитоби босамари чангҳо (барои чанги графитии зичияш ба 2,5 г/см³) ба $\beta = 2,2$ баробар аст. Хангоми бархӯрди сели корпускулявӣ ба чангҳо энергияи онҳо ба 10²⁷–10²⁹ эрг/с баробар мешавад. Танҳо чангҳои мушкилгудоз бо гирифтани заряд мавқеи худро дар фазои кайҳонии наздиҳастай дигар мекунанд. Маҳз чангҳои мушкилгудоз хангоми гирифтани энергияи иловагӣ фазои назди кометавиро тарк карда, дар думи чангин синхронаҳоро ташаккул медиҳанд.

Калидвожаҳо: кометаи C/2020 F3 NEOWISE, ядро, атмосфера, думи чангин, думи плазмагӣ, ҳаракати чанг, суръат, шитоби босамар, чанги заряднок, фазои назди кометавӣ

ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ КОМЕТА C/2020 F3 NEOWISE

В настоящее работе по результатам наблюдения долгопериодической кометы C/2020 F3 NEOWISE в Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики НАНТ с 23 по 27 июля 2020 года, исследовано движение частиц в атмосфере. Наблюдение кометы C/2020 F3 NEOWISE проводилось на телескопе АЗТ-8. В фокусе Ньютона телескопа установлена ПЗС-камера FLI PROLINE 9000 с использованием широкополосных фотометрических фильтров системы Джонсона-Козинса – BVRI. Размер и поле зрения ПЗС-камеры на АЗТ-8 составляет 3053×3056 пикселей и 44,7×44,7 минутной дуги. ПЗС-камера была охлаждена до – 20 °C и время экспозиции продлено до 120 секунд. В основном цифровые изображения кометы получены на фильтрах RI. Установлено, что при сублимации скорость газо - производительность составляет от 5,49 до 6,12×10²⁹ молекула в секундах. Значения эффективная ускорения пылевых (для графитовых частиц плотностью 2,5 г/см³) частиц достигает $\beta = 2,2$. При бомбардировке корпускулярных потоков на частицы их энергия достигают значения 10²⁷ – 10²⁹ эрг/с. Только тугоплавкие частицы обретают новую жизнь, меняя своё положение на около ядерном пространстве кометы. Именно тугоплавкие частицы при получении дополнительной энергии покидают около кометного пространства формируя в пылевом хвосте синхронную образование.

Ключевые слова: комета C/2020 F3 NEOWISE, ядро, атмосфера, пылевой хвост, плазменный хвост, движения частиц, скорость, эффективное ускорения, заряженная частица, около кометная пространство.

MOTIONS OF CHARGED DUST PARTICLES IN THE ATMOSPHERE OF COMET C/2020 F3 NEOWISE

In the present work, based on the results of the observation of the long-period comet C/2020 F3 NEOWISE at the Hissar Astronomical Observatory of the Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences from July 23 to 27, 2020, the motion of particles in the atmosphere has been studied. Comet C/2020 F3 NEOWISE was observed with the AZT-8 telescope. An FLI PROLINE 9000 CCD camera was installed at the Newton focus of the telescope using broadband photometric filters of the Johnson-Cousins system - BVRI. The size and field of view of the CCD camera on AZT-8 is 3053×3056 pixels and 44.7×44.7 arc minutes. The CCD camera was cooled to -20°C and the exposure time was extended to 120 seconds. Basically, digital images of the comet were obtained using RI filters. It has been established that during sublimation the rate of gas-performance is from 5.49 to 6.12×10²⁹ molecule per second. The values of effective acceleration of dust (for graphite particles with a density of 2.5 g/cm³) particles reach $\beta = 2.2$. When corpuscular flows are bombarded by particles, their energy reaches 10²⁷ - 10²⁹ erg/s. Only refractory particles acquire a new life, changing their position in the vicinity of the comet's nuclear space. It is refractory particles that, when receiving additional energy, leave near the cometary space, forming a synchronous formation in the dust tail.

Keywords: comet C/2020 F3 NEOWISE, nucleus, atmosphere, dust tail, plasma tail, particle motions, velocity, effective acceleration, charged particle, near cometary space

Маълумот дар бораи муаллифон: Сафаров Абдулҷалол Ғафурович - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои физикаю математика, дотсент, мудири кафедраи астрономияи

факултети физика. **Суроға:** 7340425, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 931-46-51-73. **Email:** aj_safarov@mail.ru.

Ҳикматуллоев Саймудин Ҷаборович - Донишгоҳи славиянии Россия ва Тоҷикистон, муаллими калони кафедраи математика ва физикаи факултаи илми табиӣ. **Суроға:** 7340425, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи М. Турсунзода, 30. **Телефон:** (+992) 937-65-50-55. **E-mail:** saimudin.hikmattuloev@bk.ru.

Сведение об авторах: Сафаров Абдулҷалол Гафурович - Таджикский национальный университет, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедры астрономии физического факультета. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 931-46-51-73. **Email:** aj_safarov@mail.ru.

Хикматуллоев Саймудин Джаборович - Российский – Таджикский (Славянский) университет, старший преподаватель кафедры математики и физики естественно-научный факультета. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица М. Турсунзаде, 30. **Телефон:** (+992) 937-65-50-55. **E-mail:** saimudin.hikmattuloev@bk.ru.

Information about the authors: Safarov Abduljalol Gafurovich - Tajik National University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Astronomy, Faculty of Physics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 931-46-51-73. **Email:** aj_safarov@mail.ru.

Hikmatulloev Saimudin Dzhaborovich - Russian - Tajik (Slavonic) University, Senior Lecturer, Department of Mathematics and Physics, Faculty of Natural Sciences. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, M. Tursunzade Street, 30. **Phone:** (+992) 937-65-50-55. **E-mail:** saimudin.hikmattuloev@bk.ru.

УДК: 621.762.27

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ И ЛЕГИРОВАННЫЕ ОБРАЗЦЫ ВБЛИЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ В ТВЕРДОМ И ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

Гафоров С., Шарипов А. П., Баротов Н. И.

Кулябский государственный университет имени А.Рудаки

Известно, что соединения типа $A^{III}B^V$ являются основными и перспективными материалами микроэлектроники и активными элементами ИК-излучении оптических приборов, термоэлектрические генераторы, датчиках магнитного поля, для создания светодиодов, работающих в инфракрасной области спектра, туннельных диодов в полупроводниковые и современные электронные установки. а также намечается их применения в области нанотехнологии. В связи с этим комплексное экспериментальное исследование электрофизических и термодинамических свойств представляют большой интерес как с точки зрения теории, так и практического применения [1-5].

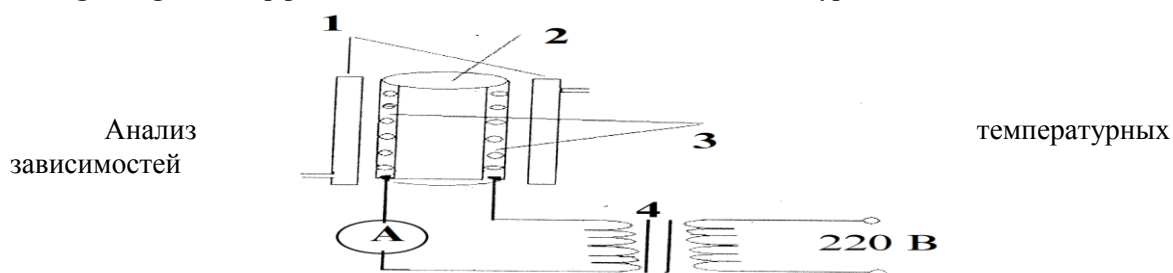
Целью настоящей работы является комплексное экспериментальное исследования температурных зависимостей электрофизических и термоэлектрических параметров, такие как электропроводность, термо-эдс и эффекта Холла вблизи точки плавления в твердом и в жидком состоянии.

Для осуществление поставленной задачи, т. е. измерение электрофизических и термоэлектрических параметров при высоких температурах, нами были использованы нагреватели на основе немагнитной сплавов стали. Электрическая печь выполнена из стальной трубы, диаметром 30мм, покрытой слоем керамики из местной сырьё, которое бесспорно выдерживает высоких температур и затем бифилярно намотан ленточный нагреватель типа ОХЮ23БА рассчитанный на 25А, обеспечивающий максимальную температуру до 1300К (рис.1). Водоохлаждающий кожух предназначен для обеспечения стабильность температур внутри электрической печи и вместе с ним образца. Керамика использованное нами в печи по жаростойкости и термостойкости ничем не уступает электрокорунда [7].

Учитывая специфические особенности соединения антимонида галлия и легированных образцов нами были обеспечены основные требования, которое нужно соблюдать при измерениях электрофизических и термоэлектрических параметров, в частности нужно было обеспечивать одновременное стабилизированное температурное поле и одновременное проведения измерения двух или трёх параметров; соблюдая ограниченности зазоров ($d=54\text{мм}$) постоянного или электромагнита и физической установки нагреватель изготовлен с ограниченными габаритами (рис.1); в условиях лаборатории немаловажным вопросом является и экономия или уменьшении потребляемой мощности. С учетом вышеизложенного нами была разработана электрическая печь [15].

Рисунок 1. Схема электрический нагреватель позволяющая получить температуру до 1300К: 1- водоохлаждающий кожух; 2- стальная труба; 3- бифилярно намотанный нагреватель; 4- автотрансформатор типа РНО-250-10.

Figure 1. Scheme of an electric heater that allows you to get temperature up to 1300K: 1- water-cooling casing; 2- steel pipe; 3- bifilar wound heater; 4-autotransformer type RNO-250-10.



электрофизических свойств антимонида галлия позволяет сделать вывод о том, что соединение плавится по типу полупроводник-металл [1-2], в частности, плавление антимонида галлия

сопровождается скачкообразными увеличениями электропроводности. Этот факт можно связать по мнению А. Р. Регеля и В. М. Глазова [1-2] с резким увеличением концентрации носителей заряда, которые объясняется разрушением пространственной системы ковалентных связей и образованием коллектива свободных электронов, т. е. переходом в металлоподобное состояние. О росте концентрации носителей тока свидетельствует также скачкообразное уменьшение магнитной восприимчивости, которое связано с ростом спинового парамагнетизма свободных электронов при увеличении их концентрации и уменьшение термо-эдс [3]. Однако, имеющиеся в настоящее время данные по изменению концентрации электронов у антимонида галлия при плавлении носят косвенный характер [6], что обусловлено отсутствием экспериментальных данных по измерению эффекта Холла в расплаве этого вещества.

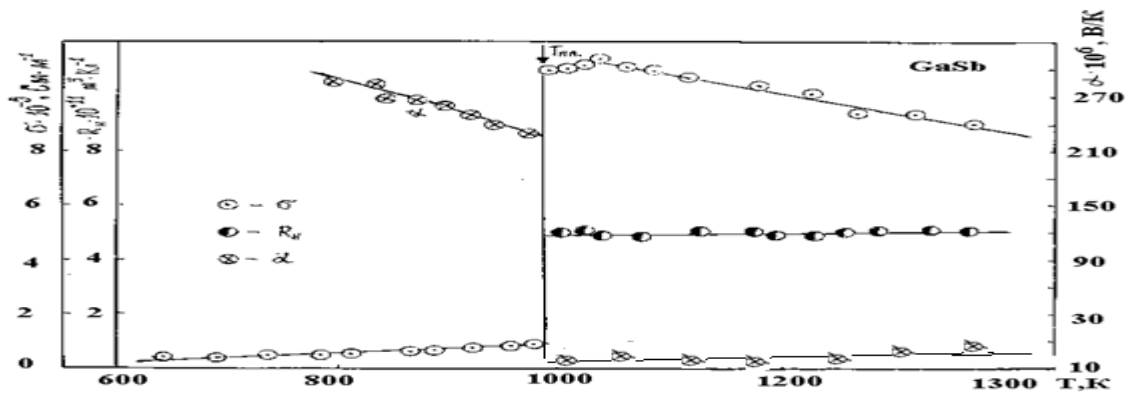
С целью получения надежной экспериментальной информации об изменении концентрации носителей заряда у антимонида галлия и легированных образцов при плавлении и нагрева жидкой фазы, мы проводили серию экспериментальных исследований эффекта Холла, электропроводность и термо-эдс в расплаве антимонида галлия с привлечением методикой, описанной в работе [6].

В качестве исходных компонентов нами были выбраны химические элементы монокристаллические Ga, и Sb. Навески брали с точностью $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ кг. Исходя из размеров холловской ячейки навески выбраны по 10г. Вещество помещали в кварцевых ампулах, вакуумированных до $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па и запаянных. Для синтеза образцов нами была использованы стандартные печи марки СШОЛЬ-1-1,6/12 и СУОЛ-0,4-2,5/1,5-ИИ, которые без градиентная зона у них намного превышала размера образцов. Нагрев проводился ступенчато до температуры образования соединения, после чего выдерживали на 20-30 градусов выше температуры плавления, а затем охлаждали при выключенной печи.

Электропроводность в образцах антимонида галлия в твердом и жидком состоянии измерялось одновременно с эффектом Холла [20] и стандартным четырехзондовым методом. Погрешность измерения постоянной Холла составляло 6%, а электропроводность 2,5%. При оценке ошибки измерения постоянной Холла мы учитывали точность измерения температуры, холловского напряжения, электрического тока, магнитного поля и толщины щели измерительной ячейки. В качестве исходного материала для исследований использовались монокристаллические образцы антимонида галлия с концентрацией носителей заряда при комнатной температуре, равной $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. На рис.2. представлены результаты экспериментов по температурным зависимостям константы Холла, термо-эдс и электропроводность антимонида галлия в твердом и в жидком состоянии.

Рисунок 2. Температурные зависимости коэффициентов электропроводности, термо-эдс и Холла антимонида галлия в твердом и жидком состоянии

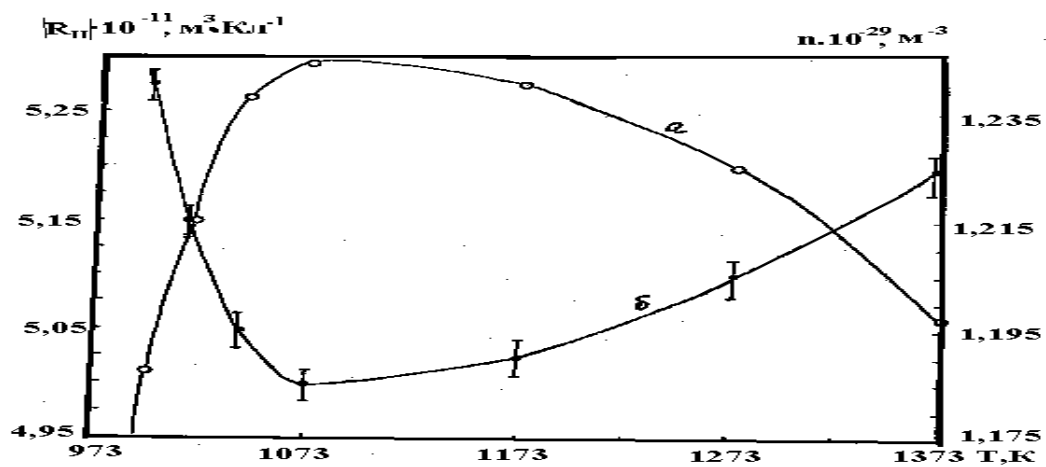
Figure 2. Temperature dependences of the electrical conductivity, thermal elf and Hall coefficients of gallium antimonite in the solid and liquid state.



Как видно из рис.2 после плавления у антимионида галлия до температуры 1073К постоянной Холла несколько уменьшается, а при последующем нагревании расплава (Т=1073-1173К) наблюдается независимость от температуры, а затем небольшое линейное увеличение по абсолютной величине. Оценку концентрации носителей заряда проводили, учитывая металлический характер расплава Gas по известной формуле ТСЭ. Экспериментальные температурные зависимости коэффициента Холла и вычисленные на их основе концентрации носителей заряда приведены на рис.3.

Рисунок 3. Температурная зависимость концентрации носителей заряда расплава антимионида галлия

Figure 3. Temperature dependence of carrier concentration charge of gallium antimonite melt



Из рис.3 видно, что нагревание расплава приводит к некоторому вполне ощутимому возрастанию концентрации электронов до определенного предела, после которого наблюдается сначала независимость, а затем монотонное уменьшение величины концентрации (а).

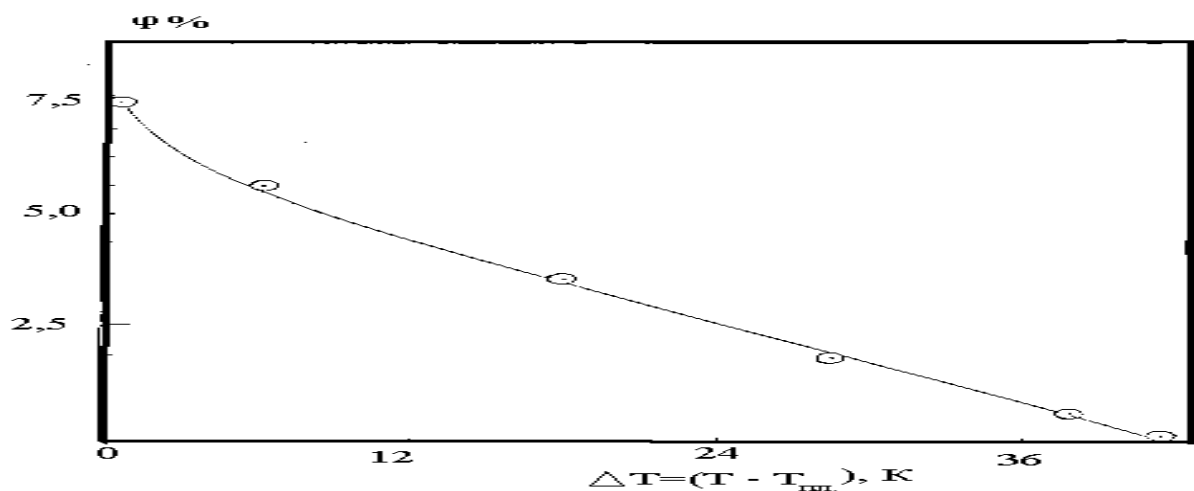
Экспериментальные результаты по своему характеру коррелируют с характером температурной зависимости свободной энергии активации

вязкого течения расплава антимионида галлия и с изменением координационного числа при плавлении и скорости ультразвука в жидкой фазе [1]. Наблюдаемую картину можно объяснить изменением объемной доли (микро-областей) кластеров (φ), сохраняющих структуру ближнего порядка твердой фазы при нагревании расплава вблизи температуры плавления и различающихся преимущественно ковалентным типом межатомных связей. Оценка φ в рамках кластерной модели с оценки

концентрации носителей заряда проводили на основе модели ТСЭ, учитывая металлический характер расплава антимонида галлия. Оценка ϕ в рамках кластерной модели с использованием экспериментальных данных по вязкости [8] показала, что вблизи точки плавления объемная доля указанных микро-областей составляет величину порядка $\sim 8,4\%$ и уменьшается с ростом температуры. На рис.4 представлена температурная зависимость объемной доли кластеров в расплаве антимонида галлия. Используя экспериментальные данные по измерению эффекта Холла в жидком антимониде галлия, мы рассчитали температурную зависимость концентрации носителей заряда (рис.3,5). Элементарный расчет показывает, что наблюдаемое увеличение

Рисунок 4. Температурная зависимость объемной доли кластеров расплава антимонида галлия.

Figure 4. Temperature dependence of the volume fraction of gallium antimonite melt clusters.



концентрации носителей заряда в период после плавления антимонида галлия вполне объясняется до разрушения кластеров при нагревании расплава, сопровождающимся освобождением электронов за счет разрыва ковалентных связей. Проведенные измерения электропроводности антимонида галлия в твердом и жидком состояниях и эффекта Холла в расплаве позволяют рассчитать изменение концентрации носителей заряда, которое происходит у данного соединения при плавлении. Концентрацию носителей в твердом антимониде галлия вблизи точки плавления мы оценивали по формуле:

$$n_i^2 = 4 \left(\frac{2\pi m_n^* m_p^* kT}{\hbar^2} \right)^3 \exp(-\Delta E/kT), \quad (1)$$

где n_i – концентрация собственных носителей; m_n^* и m_p^* – величины эффективных масс носителей. Величину ширину запрещенной зоны ΔE_g мы вычисляли из значения производной функции $\ln \sigma$ по T^{-1} и получили вблизи температуры плавления антимонида галлия значение равное $\Delta E_g = 0,23 \cdot 10^{-19}$ Дж. = 0,14 эВ. Полученный результат достаточно хорошо согласуется со справочными данными. Значения эффективных масс электронов и дырок взяты из работы [6], где они были получены исходя из формулы $m^* = \frac{\hbar^2 (3\pi^2 n_0)^{2/3}}{3(E_{V_0} - E_0)}$. (2)

Таблица 1. Некоторые экспериментальные результаты температурной зависимости коэффициентов термо-эдс, электропроводность и Холла антимонида галлия ($T_{пл.} = 985K$).

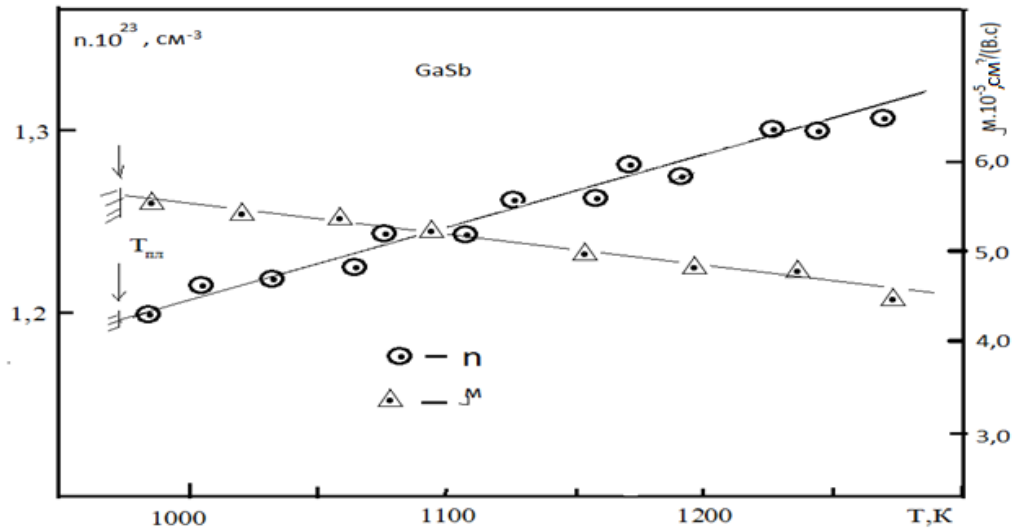
Table 1. Some experimental results of the temperature dependence of the thermoelectric emf, electrical conductivity and Hall coefficients of gallium antimonide ($T_m = 985K$).

T, K	$\alpha \cdot 10^6$, В/К	T, K	$\sigma \cdot 10^{-5}$, См/м	T, K	$R_H \cdot 10^{11}$, м ³ /Кл
732	276,04	374	0,268	995	5,20
784	278,03	421	0,314	1022	9,05
795	282,55	446	0,322	1034	4,90
836	279,80	480	0,329	1076	4,90
839	276,53	533	0,537	1124	5,00
872	263,87	575	0,383	1177	5,00
899	236,58	638	0,383	1196	4,90
916	231,61	662	0,391	1229	4,90
918	246,63	686	0,399	1264	5,02
937	235,20	733	0,422	1280	5,16
966	144,75	768	0,441	1300	5,21
972	107,14	780	0,460		
1014	2,62	813	0,476		
1016	3,10	864	0,559		
1019	2,80	888	0,692		
1052	2,90	987	0,782		
1060	2,49	963	0,797		
1063	2,08	980	0,882		
1066	3,07	990	10,85		
1082	4,14	1023	10,96		
1110	3,10	1035	11,19		
1150	4,44	1063	10,94		
1175	5,05	1088	10,74		
1190	5,44	1110	10,58		
1192	5,48	1167	10,28		
1220	5,82	1180	10,20		
1294	7,05	1229	9,89		
1300	7,85	1270	9,16		

В итоге произведенных расчётов мы получили значение концентрации носителей заряда у антимонида галлия в твердом состоянии вблизи точки плавления равное $n = 2,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Из сопоставления этой величины с концентрацией носителей заряда в расплаве антимонида галлия при температуре плавления видно, что процесс плавления сопровождается увеличением концентрации электронов и отношении концентрации в жидком и твердом состоянии равную: $\frac{n_f}{n_s} = 12,3$ и дальнейшее нагревание расплава приводит к незначительному их увеличению за счет разрушения кластеров (Рис.5). Температурные зависимости подвижность носителей заряда коррелирует с концентрации, видно, что при увеличении концентрации подвижность носителей уменьшается.

Рисунок 5. Температурные зависимости концентрации и подвижности носителей заряда в жидком антимониде галлия.

Figure 5. Temperature dependences of concentration and mobility charge carriers in liquid gallium antimonite.



Полученные экспериментальные данные по определению постоянной Холла с последующим расчетом концентрации электронов нами были использованы для оценки электронной составляющей энтропии плавления, которая ранее оценивалась в работах [10], на основе представлений о структурной модели расплава при учете явлений после плавления.

Согласно [10]:

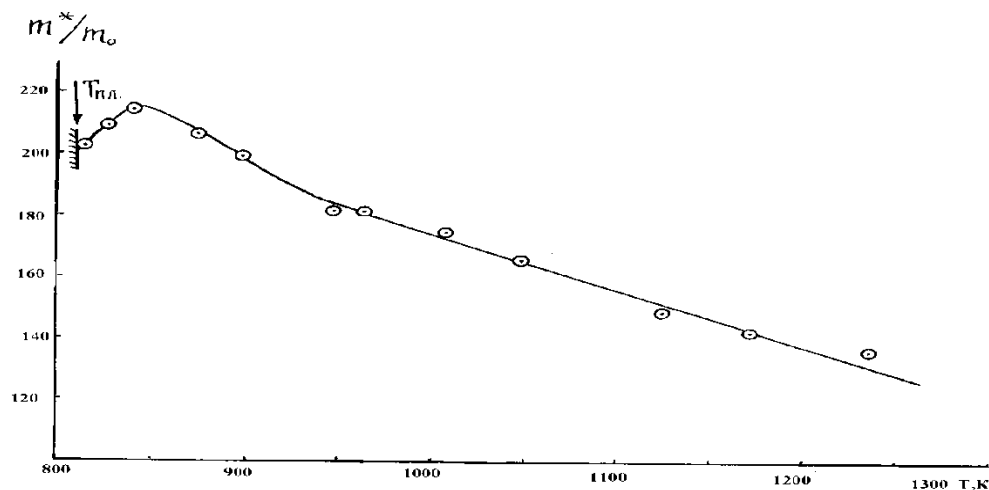
$$\Delta S_{\text{эл.}} = en(\alpha_s - \alpha_l) \quad (3)$$

где α_s и α_l - значения дифференциальной термо-эдс в твердой и жидкой фазах, соответственно. Подставив в уравнение (3) значение

$n_s = 1,2 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$ и величину $(\alpha_s - \alpha_l)$, которая согласно [10] равна 60 мкВ/К, мы получили значение электронной составляющей энтропии плавления $\Delta S_{\text{эл.}} = 4,54$ энтропионах единиц, что достаточно хорошо согласуется с модельными оценками, сделанными в работах [11]. Этот факт целиком и полностью свидетельствует в пользу ранее сделанных выводов о металлическом характере расплава антимонида галлия [1]. В антимониде галлия, как и в случае антимонида индия наблюдается явление «после плавления» [1]. Как было показано выше, плавление соединения антимонида галлия сопровождается скачкообразными изменениями электрофизических и термоэлектрических параметров.

Рассматриваем данное соединение выше точки плавления в интервале температур 1100-1250К. В данном диапазоне температур электропроводность с повышением температуры уменьшается, значения электропроводность велика (порядка 10^6 См/м), что указывает на металлический характер переноса. Константу Холла в жидкой фазе можно считать постоянной. Таким образом, можно предполагать, что процесс разрыва связей и освобождения носителей не сразу завершается в точке плавления. На рис.6 представлен отношение эффективной массы к массе покоя электрона в зависимости от температуры расплава антимонида галлия.

Рисунок 6. Температурная зависимость отношении эффективной массы к массе покоя электрона в жидком антимониде галлия.
Figure 6. Temperature dependence of the ratio of effective mass to rest mass of an electron in liquid gallium antimonite



Этот факт целиком и полностью свидетельствует в пользу ранее сделанных выводов [1-2] о металлическом характере расплава антимонида галлия. В антимониде галлия, как и в случае антимонида индия наблюдается явление «после плавления». Как было показано выше, плавление соединения антимонида галлия сопровождается скачкообразными изменениями электрофизических параметров.

Рассматриваем данное соединение выше точки плавления в интервале температур 1100-1250К. В данном диапазоне температур с повышением температуры электропроводность уменьшается, значения электропроводности велики (порядка 10^6 См/м), что указывает на металлический характер переноса. Константу Холла в жидкой фазе можно считать постоянной. Термо-эдс имеет небольшую тенденцию к увеличению с повышением температуры. Это явление, в общем случае, в рамках одно зонной модели объяснить трудно. Однако, если воспользоваться соотношением для термо-эдс согласно [12]:

$$\alpha = \frac{k}{e} \left[A + \ln \frac{2(2\pi m^* k)^{3/2}}{(2\pi \hbar^3)^3 p_0} \right] + \frac{3k}{2e} \cdot \ln T, \quad (4)$$

где $A = \text{const}$; P_0 – значение концентрации носителей, которое в нашем случае практически постоянное. Данная формула справедлива в случае сильного вырождения и отсутствия температурной зависимости концентрации, что наблюдается в нашем случае, тогда $\alpha = f(\ln T)$, т. е. можно объяснить возрастание термо-эдс с ростом температуры.

Исходя из металлического характера электропроводности расчеты проводили на основе одно-зонной М-модели. Поскольку коэффициент Холла постоянный, то находим среднее значение концентрации носителей, которое принимаем постоянным по всем рассматриваемом температурном интервале расплава: $n = 1,25 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$. Далее, вычисляли подвижности носителей. Подвижность незначительно уменьшается в жидком состоянии с ростом температуры, что ее можно считать постоянным и равным $0,6 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. По данным концентрации и подвижности носителей следует, что антимонид галлия в жидкой фазе более металлизирован, нежели антимонида индия. Принимая $AC^2 = 5700 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1} \text{ эВ}^{-1}$ по методике [13] вычисляем $(E_{V_0} - E_F)$. По данным $(E_{V_0} - E_F)$ видно, что полупроводник сильно вырожден, что следовало ожидать. Степень вырождения выше, чем у соседнего соединения - антимонида индия. По формуле (2) находим эффективную массу носителей для антимонида галлия, приняв $E_F = 1,8 \text{ эВ}$ в качестве среднего: $m^* = 61m_0$. Видно, что у антимонида галлия

эффективная масса больше, чем у антимонида индия, что возможно и объясняет их меньшую подвижность. На основании вышеизложенного можно сказать, что антимонид галлия хорошо описывается одно-зонной моделью с M-приближением. Исходя из постоянства концентрации можно объяснить аномальное возрастание термоэдс. И наконец, процесс разрушения ковалентной связи, и образование носителей заряда у антимонида галлия практически не сразу завершается в точке плавления.

Таблица 2. Некоторые параметры антимонида галлия и расплава GaS.
Table 2. Some parameters of gallium antimonite and Gas melt

Параметры	Температура, К						
	1100	1130	1150	1200	1250	1230	1300
$\mu_H \cdot 10^4, \text{м}^2/(\text{Вс.})$	0,53	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47
$(E_{V0} - E_F), \text{эВ}$	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5

Для металлов связь между коэффициентами электропроводность и теплопроводность определяется с помощью закона Видемана–Франца. Учитывая, металлизации антимонида галлия выше температуры плавления, нами была вычислена на основе экспериментальных данных по электропроводности, коэффициент теплопроводности в зависимости от температуры в твердом и жидком состоянии (табл.2). Как видно из табл.2 теплопроводность антимонида галлия в жидком состоянии на порядок выше, чем в твердом состоянии, а также в жидком состоянии имеет тенденцию к увеличению.

Таблица 2. Теплопроводность антимонида галлия в зависимости от температуры вычисленные по закону Видемана-Франца.
Table 2. Thermal conductivity of gallium antimonite depending on temperatures calculated according to the Weidman-Franz law.

T, K	$\chi, \text{Вт/м.К}$	$10^3/T$	$\ln\chi \cdot 10^3/T$ Вт/м.К	$\ln\sigma \cdot 10^{-5},$ Сим/м	$10^3/T$	$\ln R_H \cdot 10^{-11},$ м ³ /Кл	
375	0,24	2,67	-1,43	2,67	-1,32	1,005	2,72
397	0,295	2,52	-1,22	2,52	-1,18	0,978	2,71
480	0,382	2,08	-0,96	2,38	-1,16	0,967	2,70
533	0,432	1,88	-0,84	2,24	-1,13	0,929	2,70
575	0,476	1,74	-0,74	2,08	-1,11	0,890	1,63
638	0,591	1,57	-0,53	1,88	-1,08	0,850	1,61
685	0,661	1,46	-0,41	1,74	-1,06	0,836	2,70
730	0,746	1,36	-0,29	1,57	-0,96	0,814	2,70
780	0,868	1,28	-0,14	1,51	-0,94	0,797	1,61
813	0,937	1,23	-0,07	1,46	-0,92	0,778	1,64
864	1,169	1,16	0,16	1,36	-0,86	0,769	1,71
923	1,546	1,08	0,44	1,30	-0,82		
957	1,807	1,04	0,59	1,28	-0,78		
980	2,09	1,02	0,74	1,26	-0,76		
990	25,994	1,01	3,26	1,23	-0,74		
1010	26,764	0,99	3,29	1,16	-0,58		
1023	27,13	0,98	3,30	1,13	-0,49		
1035	28,03	0,96	3,33	1,08	-0,37		
1063	28,143	0,94	3,34	1,04	-0,25		

1088	28,278	0,92	3,34	1,01	2,39		
1118	28,625	0,89	3,35	0,98	2,39		
1167	29,032	0,86	3,37	0,97	2,42		
1180	29,119	0,85	3,37	0,92	2,37		
1230	29,465	0,81	3,38	0,86	2,33		
1270	39,236	0,77	3,67	0,79	2,29		
1300	28,79	0,77	3,36	0,77	2,21		

На основании вышеизложенных можно сделать заключение о том, что антимонид галлия в жидком состоянии ведет себя как металл и переход из твердого состояния в жидкое оценивается как переход ПП-М, в пользу оценки Регеля А. Р. и В. М. Глазова [1].

Наряду с этим нами были исследованы теплопроводность и термодинамические свойства соединения арсенида и антимонида галлия и твердые растворы на их основе Ga As-GaSb, т. е. в тройной системе Ga-As-Sb. Анализ литературных данных показало, что [16-19] полупроводниковое соединение типа $A^{III}B^V$ является одним из перспективным соединений класса цинковой обманки (ZnS) и в течение многих лет представлены результаты рентгеноструктурного, рентгенофазового и термографического исследования, а также результаты некоторых физико-химических исследований. Исследование термодинамические свойства данного соединения в литературе не обнаружена.

В связи с этим нами были изучены и экспериментально получены термодинамические характеристики антимонида галлия и легированные образцы на основании измерения теплоемкости и коэффициента термического линейного расширения в широком интервале температур, а также результаты определения предельных законов теплоемкости и некоторых характеристик колебательного спектра. Поскольку в последнее время потребность к новым высокоэффективным полупроводниковым материалам возрос, исследование технологии получения и исследование физико-химических, электро-терм физических, термодинамических, оптических и др. свойств, интенсивно развиваются в области сложных систем химических соединений и твердых растворов на их основе. Большой интерес представляет выяснение поведения сложные химические соединения с добавкой лигатуры. Этот вопрос должен найти своё решения не только для простых, бинарных материалов, но и для областей существования непрерывных рядов твердых растворов, тройных и более сложных соединений, в пределах которых существует возможность варьировать свойства путем изменения состава соединений. По нашим прогнозам, и предварительным теоретическим и экспериментальным исследованиям между двойными соединениями GaAs и GaSb в тройной системе Ga-As -Sb образуется непрерывный ряд твердых растворов GaSb-GaAs. Как было отмечено выше, согласно нашим теоретическим и экспериментальным исследованиям [18], оба соединения кристаллизуются в тетрагональной структуре типа сфалерита цинковой обманки (ZnS) и имеют упорядоченную структуру с послойным расположением разных сортов атомов.

Представляло интерес теоретически изучать и экспериментально исследовать образование непрерывных рядов твердых растворов между бинарными соединениями GaAs и GaSb в тройной системе Ga – Sb – As. В образце для исследования получили прямым синтезом стехиометрических количеств исходных компонентов химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева в откачанных до 0,013 Па в предварительно графитизированных отпаянных кварцевых ампулах с использованием вибрационного перемешивания расплава. Продолжительность синтеза 18-20 часов при температурах, на 45-60⁰С превышающих температуры ликвидуса. После синтеза расплавы со скоростью 25-28 ⁰С/ч охлаждались до комнатной температуры [19].

Нами изучена диаграмма состояния системы GaSb – GaAs. Полученные результаты исследования термического анализа представлены на рис. 7 [18]. Видно, что в рассматриваемой системе GaSb–GaAs образуется непрерывный ряд твердых растворов и из полученных сплавов твердых растворов в системе GaSb–GaAs нами была исследована температурная зависимость электропроводности в широком интервале температур, включая и жидкую фазу. По результатам исследования температурной зависимости электропроводности $\lg\sigma=f(1/T)$ была определена ширина запрещенной зоны (ΔE_0) сплавов состава разреза системы GaSb – GaAs (рис.8.).

Рисунок 7. Диаграмма состояния системы GaSb-GaAs
Figure 7. Diagram of the state of the GaSb-GaAs system

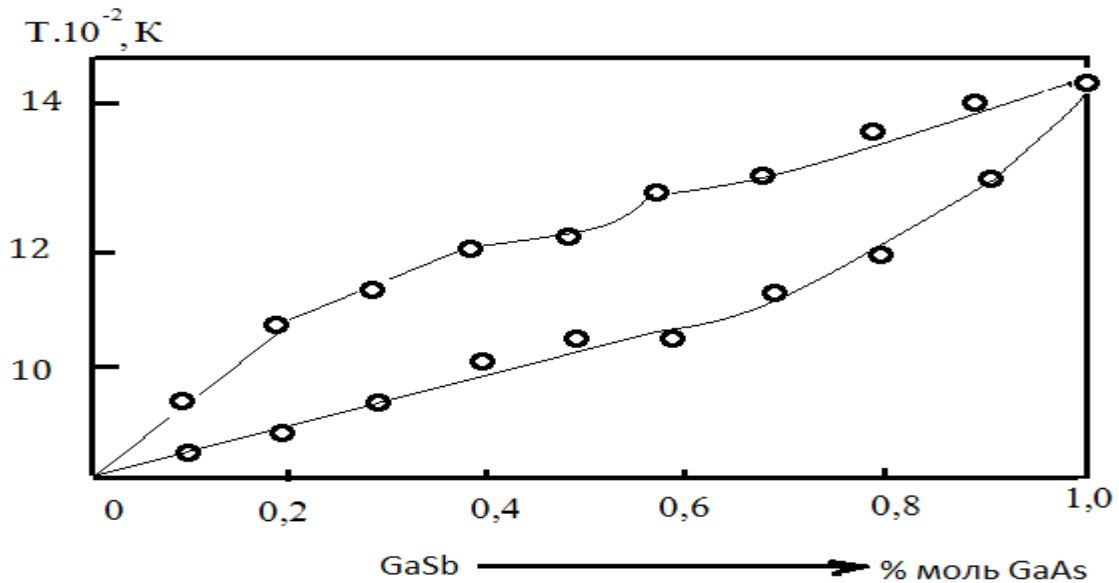
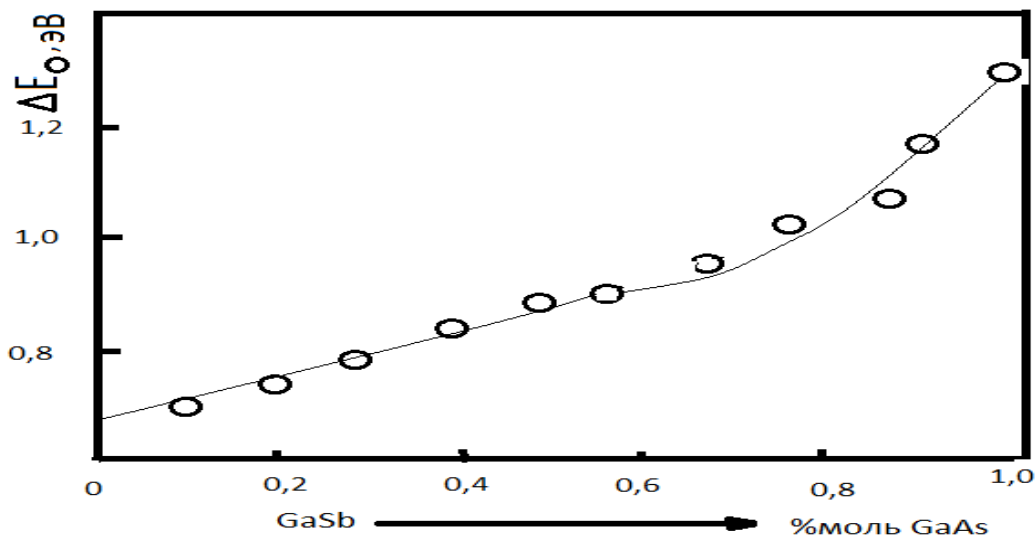


Рисунок 8. Ширина запрещенной зоны в зависимости от состава сплавов.
Figure 8. Band gap versus alloy composition.



Видно, что с увеличением содержания GaAs в сплавах системы GaSb – GaAs, ширина запрещенной зоны (ΔE_0) увеличивается почти монотонно.

Экспериментальное исследование температурных зависимостей электрофизических параметров, такие как электропроводность и термо-эдс показали, что промежуточные сплавы составов системы GaSb-GaAs имеют тенденцию, как и в

чистые компоненты, в частности в твердом состоянии с увеличением температуры электропроводность соответственно увеличивается, а коэффициент термо-эдс имеет тенденцию к уменьшению. Указанные параметры при плавлении, т. е. в точке плавления имеют скачкообразное изменения. В жидком состоянии при дальнейшем нагреве электропроводность уменьшается, т. е. твердый раствор принимает металлический характер проводимости. Значение коэффициента электропроводности твердого раствора GaSb–GaAs в точке плавления в твердом состоянии принимает значения порядка $\sim 10^3 \text{ См/м}$, а в точке плавления, в жидком состоянии порядка $\sim 10^5 \text{ См/м}$. То что касается температурной зависимости коэффициента термо-эдс при высоких температур наблюдается сложный характер, т. е. уменьшение термо-эдс.[3]. Судя по результатам термо-эдс можно сделать вывод, что знак носителей заряда в жидком состоянии остаётся отрицательным. Принимая во внимание результаты работы [79] в системах твердого раствора GaSb – GaAs как квазибинарная и как перитектическая реакция, считаем, что перитектическая реакция лежит между 45-69 мол% GaAs и её зависимость от температуры

$T = 1015\text{K}$ по перитектической линии $T=1018\pm 5,38 < \text{хмол. \% GaAs} < 61$, что коррелируют между собой.

На основании экспериментальных данных уверенно можно утвердить, что экспериментальные исследование коэффициентов электропроводности и термо-эдс. в зависимости от температуры в твердых растворах GaSb – GaAs, температуры солидус и ликвидус (T_s и T_L) хорошо согласуются с теоретическими данными. Экспериментальные данные показывают, что GaAs при $T=300\text{K}$ имеет $E_g=1,35\text{эВ}$ и является широкозонным полупроводником, а GaSb при $T= 300\text{K}$ имеет $E_g = 0,79 \text{ эВ}$, что относится к узкозонным полупроводникам и сочетании твердые растворы на их основе в жидкой фазе могут быть рекомендованы к применению в различных областях электронной техники. В твердых растворах в системе GaSb – GaAs коэффициенты электропроводности и термо-эдс хорошо коррелируют между собой. Нарушение гомеоплярной связи появляется в области температур

$T=725\div 885\text{K}$, значит при этом возникает освобождение зарядов проводимости, за счет чего происходит увеличение электропроводности. После плавления системы GaSb-GaAs с повышением температуры жидкости, электропроводность уменьшается, т. е. твердый раствор принимает металлический характер проводимости, а коэффициент электропроводности принимает значение $\sigma = (7,76\div 2,62) \cdot 10^5 \text{ См/м}$.

Это значит, что в дальнейшем при повышении температуры увеличивается концентрация свободных носителей тока, что приводит к металлическому характеру проводимости.

Можно заметить, что при температуре 600K в твердом состоянии коэффициент термо-эдс. принимает значение $\alpha = (140\div 150) \cdot 10^6 \text{ В/К}$, при повышении температуры, перед плавлением $\alpha = 120 \cdot 10^6 \text{ В/К}$ и в дальнейшем термо-эдс. уменьшается до значения $\alpha = 66 \cdot 10^6 \text{ В/К}$. Начиная с 875K термо-эдс начинает возрастать и в интервале $875 \div 1160\text{K}$ возрастание термо-эдс принимает линейную характер.

В заключении следует сделать вывод, о том, что проведены комплексное исследование электрофизических и термодинамических параметров чистые образцы антимонида и арсенида галлия и промежуточные составы на их основе и результаты экспериментов представлены в виде таблиц и графиков. Установлено, что при плавлении как чистые образцы антимонида и арсенида галлия, так и промежуточные составы на их основе имеют скачкообразное переход из твердого состояния в жидкое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регель, А.Р. Физические свойства электронных расплавов / А.Р.Регель, В.М. Глазов \ - М.: Наука, 1980. – 296 с.
2. Регель, А.Р. Периодический закон и физические свойства электронных расплавов / А.Р.Регель, В.М. Глазов \ - М.1978. – 307 с.
3. Тезисы докладов XIV Российской конференция по физике полупроводников, 9-13 сентября 2019г. Часть 2. –Новосибирск, ФГБУН Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, \ – М.: Перо, 2019. – 270 с.
4. Глазов, В.М. О химическом взаимодействии между твердой и жидкой фазы / А.С. Тимошин, В.Б. Уфимцев // ДАН СССР. Сер. Химия. - 1974. - Т. 218. - № 5. – С.1097-1099.
5. Kerckring, T. Trimph-Wagen Antimonid / T. Kerckring, V. Basile \ – Germany: Leipzig, 2014. – 350 p.
6. Гафоров С. И. Исследование эффекта Холла в расплавах полупроводников с различным характером межатомного взаимодействия. Диссертация на соискания ученой степени кандидата физико-математических наук.\ С. И. Гафоров \ – М.: МИЭТ, 1982. – 176 с.
7. Каримов, С.К. Исследование электрофизических свойств чистого и легированного антимонида галлия железом в зависимости от температуры. / С.К.Каримов, С.Гафоров, Н.И.Баротов, У.А.Гулматов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2015. №1/4(168). –С.97-101.
8. Лифшиц, И.М. Квантовая теория электропроводности металлов и полупроводников в магнитном поле\ И. М. Лифшиц \ 1957. Т.32. №6. –С.1509-1518.
9. Айвазов, А.А. Исследование механизма теплопереноса в халькогенидная первой и четвертой групп в твердом и жидком состоянии\ А.А.Айвазов \ Автореф. дисс. канд. тех. наук. – М.: МИСиС, 1968. – 32 с.
10. Глазов, В.М. Энтропия плавления металлов и полупроводников. / В.М. Глазов, А.А. Айвазов \ – М.: Металлургия, 1980. – 172 с.
11. Шарипов, А.П. Синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/А.П. Шарипов \ Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, 2021. –159 с.
12. Russel, V. R. New method for the measurement for the Hall coefficient. / V. R. Russel, C. Q. Wahlig // 1959. V.21. №12. –Pp.1028-1035.
13. Катлер М. Жидкие полупроводники\ М. Катлер \ – М.: Мир, 1980. – 256 с.
14. Баротов, Н.И. Исследование физико-химических параметров легированных полупроводниковых материалов на основе антимонида индия. Диссертация на соискание ученой степени кандидат химических наук\ Н. И. Баротов \ – ТНУ, 2022. – 156 с.
15. Каримов, С.К., Общие закономерности образования арсенида и антимонида галлия типа А^{III}В^V/ С.К.Каримов, А.П.Шарипов // Вестник КГУ им.А.Рудаки (научный журнал). – 2009. 2 (2). –С.113-116.
16. Каримов, С.К. Твердые растворы GaSb-GaAs в тройной системе Ga-As-Sb /С.К.Каримов, А.П.Шарипов // Вестник Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки (научный журнал). – 2010. 2 (4). – С. 77-81.
17. Кучис, Б.В. Метод исследования эффекта Холла \Б.В. Кучис \ – М: Советское радио, 1974. – 305 с.

REFERENCES

1. Regel, A.R. Physical properties of electronic melts / A.R. Regel, V.M. Glazov \ - M.: Nauka, 1980. – 296 p.
2. Regel, A.R. Periodic law and physical properties of electronic melts / A.R. Regel, V.M. Glazov \ - M.1978. – 307 p.
3. Abstracts of the XIV Russian Conference on Semiconductor Physics, September 9-13, 2019. Part 2. –Novosibirsk, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Semiconductor Physics named after. A.V. Rzhanova SB RAS, \ – М.: Pero, 2019. – 270 p.
4. Glazov, V.M. On the chemical interaction between the solid and liquid phases / A.S. Timoshin, V.B. Ufimtsev // DAN USSR. Ser. Chemistry. - 1974. - T. 218. - No. 5. – P.1097-1099.
5. Kerckring, T. Trimph-Wagen Antimonid / T. Kerckring, V. Basile \ – Germany: Leipzig, 2014. – 350 p.
6. Gaforov S.I. Study of the Hall effect in semiconductor melts with different types of interatomic interaction. Dissertation for the academic degree of candidate of physical and mathematical sciences.\ S. I. Gaforov \ – М.: MIET, 1982. – 176 p.
7. Karimov, S.K. Study of the electrical properties of pure and doped gallium antimonide with iron depending on temperature. / S.K.Karimov, S.Gaforov, N.I.Barotov, U.A.Gulmatov // Bulletin of TNU. Series of Natural Sciences, 2015. No. 1/4(168). –P.97-101.
8. Lifshits, I.M. Quantum theory of electrical conductivity of metals and semiconductors in a magnetic field\ I. M. Lifshits \ 1957. T.32. No. 6. –P.1509-1518.

9. Aivazov, A.A. Study of the mechanism of heat transfer in chalcogenides of the first and fourth groups in the solid and liquid state\ A.A. Aivazov\ Author's abstract. diss. Ph.D. those. Sci. – M.: MISIS, 1968. – 32 p.
10. Glazov, V.M. Entropy of melting of metals and semiconductors. / V.M. Glazov, A.A. Aivazov // – M.: Metallurgy, 1980. – 172 p.
11. Sharipov, A.P. Synthesis and properties of gallium antimonide and arsenide in solid and liquid phases. Dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences/A.P. Sharipov\Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan, 2021. –159 p.
12. Russel, B. R. New method for the measurement for the Hall coefficient. / B. R. Russel, C. Q. Wahlig // 1959. V.21. No. 12. –Pr.1028-1035.
13. Cutler M. Liquid semiconductors\ M. Cutler\ – M.: Mir, 1980. – 256 p.
14. Barotov, N.I. Study of the physicochemical parameters of doped semiconductor materials based on indium antimonide. Dissertation for the degree of Candidate of Chemical Sciences\ N. I. Barotov\–TNU, 2022. – 156 p.
15. Karimov, S.K., General patterns of formation of gallium arsenide and antimonide type АПВВ / S.K. Karimov, A.P. Sharipov // Bulletin of A. Rudaki KSU (scientific journal). – 2009. 2 (2). – P.113-116.
16. Karimov, S.K. Solid solutions GaSb-GaAs in the ternary system Ga-As-Sb / S.K. Karimov, A.P. Sharipov // Bulletin of the Kulyab State University named after Abuabdullo Rudaki (scientific journal). – 2010. 2 (4). – P. 77-81.
17. Kuchis, B.V. Method for studying the Hall effect \B.V. Kuchis\ – M: Soviet Radio, 1974. – 305 p.

ХОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРОФИЗИКИИ АНТИМОНИДИ ГАЛЛИЙ ВА НАМУНАҲОИ ЧАВҲАРОНИДАШУДА ДАР ҲУДУДИ ҲАРОРАТИ ГУДОЗИШ, ҲОЛАТИ САХТӢ ВА МОЕЪГӢ

Дар мақола натиҷаҳои таҷрибавии тавсифҳои антимолиди галлий, монанди коэффитсиенти электрикгузаронӣ, гармигузаронӣ, қувваи электроҳаракатдиҳандаи ҳароратӣ ва Холл оварда шудаанд. Вобастагиҳои ҳароратии коэффитсиентҳои зикршуда дар диапазони васеи ҳарорат дар шакли ҷадвал ва график нишон дода шудаанд. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки дар нуқтаи гудозиш коэффитсиентҳои зикршуда ба таври ҷаҳишнок якуякбора тағйир меёбанд. Дар асоси натиҷаҳои таҷрибавии вобастагии ҳароратии бузургҳои ҷеншаванда, бузургҳои дигар, монанди энергияи ғайол, консентратсия ва ҳаракатнокӣ, нисбати массаҳои эффективӣ бар массаи оромӣ ва τ ҳисоб карда шуда, дар шакли график пешниҳод шудаанд. Дар ҳолати моеъӣ ташкилшавии кластерҳо ба амал меоянд, ки баъди гудозиш зиёдшавии консентратсия ба амал омада, дар ҳолати моеъӣ вобастагии ҳароратии электрикгузаронӣ характери металлӣ мегирад.

Калидвожаҳо: антимолиди галлий, коэффитсиентҳои Холл, электрикгузаронӣ, электроҳаракатдиҳанда, консентратсия, ҳаракатнокӣ, энергияи ғайол

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ И ЛЕГИРОВАННЫЕ ОБРАЗЦЫ ВБЛИЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ В ТВЕРДОМ И ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований электрических свойств галлия, таких как электропроводность, теплопроводность, термо-эдс и Холла. Температурная зависимость указанных коэффициентов изучалась в широком диапазоне температур. Результаты представлены в виде таблиц и графиков. Они показывают, что в твердом состоянии антимолид галлия ведет себя как полупроводник, а при температуре плавления указанные коэффициенты резко меняются. Ход температурных зависимостей коррелирован друг с другом. По экспериментальным результатам температурной зависимости электропроводности, теплового и холловского коэффициентов были рассчитаны другие величины, такие как концентрация и подвижность носителей заряда, активная энергия, по отношению к эффективной массе на массу покоя и другие, и представит в виде графика. На основе экспериментальных результатов рассчитываются и представляются графически другие величины, такие как активная энергия, концентрация и подвижность и т.д. Результаты показывают, что при температуре плавления указанные коэффициенты резко изменяются. Наконец, показано, что антимолид галлия при температуре плавления переходит в полупроводниковый металл.

Ключевые слова: антимолид галлия, коэффициенты Холла, электропроводность, термо-эдс, концентрация, подвижность, энергия активации

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF GALLIUM ANTIMONIDE NEAR THE MELTING TEMPERATURE IN THE SOLID AND LIQUID STATE

The article presents the results of experimental studies of the electrical properties of gallium, such as electrical conductivity, thermal conductivity, thermal conductivity and Hall. The temperature dependence of these coefficients was studied in a wide temperature range. The results are presented in the

form of tables and graphs. They show that in the solid state, gallium antimonide behaves like a semiconductor, while at the melting temperature these coefficients change dramatically. The course of temperature dependences is correlated with each other. Based on the experimental results of the temperature dependence of electrical conductivity, thermal and Hall coefficients, other quantities were calculated, such as the concentration and mobility of charge carriers, active energy, in relation to the effective mass per rest mass, and others and present it as a graph. Based on the experimental results, other quantities are calculated and presented graphically, such as active energy, concentration and mobility, etc. The results show that at the melting temperature these coefficients change sharply. Finally, it is shown that gallium antimonide transforms into a semiconductor metal at the melting point.

Keywords: gallium antimonide, Hall coefficients, electrical conductivity, thermo-emf, concentration, mobility, activation energy

Маълумот дар бораи муаллиф: **Ғафоров Сатор** - Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абуабдуллоҳи Рӯдакӣ, дотсенти кафедраи физикаи умумӣ ва назариявӣ. **Суроға:** 735360, ш.Кӯлоб, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи С.Сафаров, 16. **Телефон:** (+992) 987221149. **E-mail:** gaforovs@mail.ru

Шарипов Аламшо Партоевич - Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абуабдуллоҳи Рӯдакӣ, мудири кафедраи илмҳои компютерӣ. **Суроға:** 735360, ш. Кӯлоб, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи С.Сафарова, 16. **Телефон:** (+992) 918846385. **E-mail:** alamsho1980@mail.ru

Баротов Намозкул Иноятovich - Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абуабдуллоҳи Рӯдакӣ, муаллими калони кафедраи физикаи умумӣ ва назариявӣ. **Суроға:** 735360, ш.Кӯлоб, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи С.Сафаров, 16. **Телефон:** (+992) 918512040. **E-mail:** barotovn@mail.ru

Сведение об авторах: **Ғафоров Сатор** – Кулябский государственный университет имени Абуабдуллы Рудаки, доцент кафедры общей и теоретической физики. **Адрес:** 735360, г. Куляб, Республика Таджикистан, улица С.Сафарова, 16. **Телефон.** :(+992)987221149. **E-mail:** gaforovs@mail.ru

Шарипов Аламшо Партоевич - Кулябский государственный университет имени Абуабдуллы Рудаки, заведующий кафедры компьютерных наук. **Адрес:** 735360, г. Куляб, Республика Таджикистан, улица С. Сафарова, 16. **Телефон:** (+992)918846385. **E-mail:** alamsho1980@mail.ru

Баротов Намозкул Иноятovich – Кулябский государственный университет имени Абуабдуллы Рудаки, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики. **Адрес:** 735360, г.Куляб, Республика Таджикистан, улица С. Сафарова, 16. **Телефон:** (+992)918512040. **E-mail:** barotovn@mail.ru

Information about authors: **Gaforov Sator** – Kulyab State University named after Abuabdulloh Rudaki, Associate Professor of the Department of General and Theoretical Physics. **Address:** 735360, Kulyab, Republic Tajikistan, S. Safarov street, 16. **Phone:** (+992) 987221149. **E-mail:** gaforovs@mail.ru

Sharipov Alamsho Partoevich - Kulyab State University named after Abuabdulloh Rudaki, Head of the Department of Computer Science. **Address:** 735360, The Republic of Tajikistan, Kulyab, S. Safarov street, 16. **Phone:** (+992) 918-84-63-85. **E-mail:** alamsho1980@mail.ru

Barotov Namozqul Inoyatovich - Kulyab State University named after Abuabdulloh Rudaki, Associate Professor of the Department of General and Theoretical Physics. **Address:** 735360, Kulyab, Republic of Tajikistan, S. Safarov street, 16. **Phone:**(+992)918512040. **E-mail:** barotovn@mail.ru

УДК 621.315.592

**УСУЛИ ОПТИКИИ МУАЙЯН НАМУДАНИ ВАСЕЪГИИ ГУЗАРИШИ
БАЙНИ ЗОНАГИИ ПАРДАҶОИ ТУНУКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИИ CdTe ВА
ВОБАСТАГИИ ОН АЗ ТЕХНОЛОГИЯИ СИНТЕЗИ ПАРДАҶО**

Султонов Н., Ақобирова А.Т., Ҳамроқулов Р.Б.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Имконияти ҳосил кардани пардаҳои поликристаллӣ, ки муқовиматашон ба якҷанд тартиб тафовут доранд, теллуриди кадмийро дар қатори германий ва кремний ба маводи перспективӣ барои истифодаи онҳо дар технологияи сохтани асбобҳои дискретӣ ва схемаҳои интегралӣ мубадал сохт. Дар айни замон рушду нумуи энергетикаи нимноқилии офтобӣ ба даст овардани маводи арзонро барои фототабдилдиҳандаҳои дорои сатҳи калон тақозо дорад. Яке аз маводҳои, ки бо ин талабҳо ҷавобгӯ аст теллуриди кадмий мебошад. Зонаи мамнуи оптималӣ ва зареби калони фурубурд, дар соҳаи намоёни тайфи офтоб, теллуриди кадмийи поликристаллиро ба яке аз маводҳои асосӣ барои табдилгарҳои офтобӣ табдил додааст.

Пардаҳои тунуки CdTe бинобар сабаби истифодаи онҳо дар элементҳои офтобӣ ва ҳамчун болопуши оптикӣ дер боз диққати олимонро ба худ ҷалб мекунад. Ин ба васеъгии зонаи мамнуъ, ки бо саҳеҳии баланд ҳисоб карда мешавад, алоқаманд аст [1, 2, 3].

Имконияти истифодаи CdTe – и васеъзона дар элементҳои офтобӣ зарурати омӯзиши хосиятҳои оптикии пардаҳои тунукро ба миён овард, чунки самаранокии асбоб (батареяи офтобӣ) ба собитаҳои оптикӣ алоқаманд аст. Зиёда аз ин хосиятҳои оптикӣ ба сохтор ва таркиби парда робитаи ногуастани дорад, ин аст, ки омӯзиши хосиятҳои оптикӣ дар бораи пардаҳо маълумоти комил медиҳанд. Хосиятҳои оптикии пардаҳои тунук, ки бо роҳи буғронии вакуумӣ ҳосил карда шудаанд дар як қатор корҳо [4-6] инъикос ёфтаанд, вале маълумот оиди хосиятҳои пардаҳо, ки дар шароити гуногуни технологӣ ба даст оварда шудаанд, вучуд надорад.

Бо мақсади муайян намудани механизми гузариши байнизонавӣ ва алоқамандии он бо параметрҳои технологӣ хосиятҳои оптикии пардаҳои тунуки CdTe, ки бо буғшавии вакуумӣ ҳосил карда шудаанд, омӯхта шудаанд.

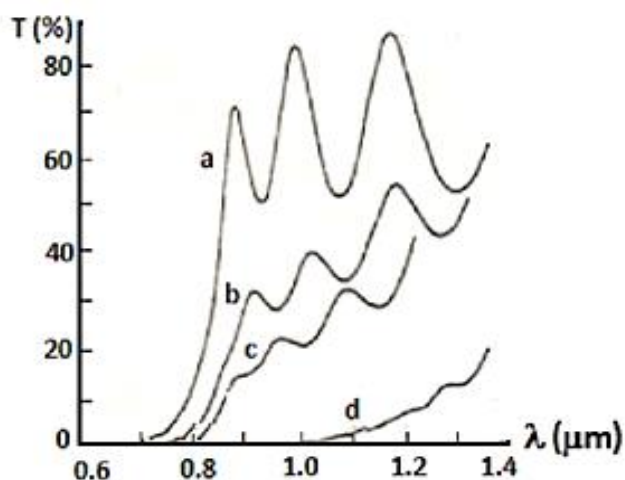
Ба сифати зерлавҳа, ғангоми ҳосил кардани пардаҳои тунук шишаи ғафсияш 1мм истифода шудааст. Ҳарорати зерлавҳаро дар ҳудуди 303-573 К тағйир додан имконпазир аст ва он дар тури афзоиши ғафсии парда собит нигоҳ дошта мешавад.

Ҳарорат бо ёрии терморайи хромел-копел, ки дар сатҳи зерлавҳа барқарор аст, чен карда шуд. Пардаҳои ғафсиашон 2 мкм бо суръати 0,5 то 20 нм/с ҳосил карда шудаанд. Қисми пардаҳо дар фазои нитроген дар ҳароратҳои гуногун оташкорӣ карда шудаанд.

Дар дифрактограммаи пардаҳои, ки дар ҳарорати наздик ба 573 К ҳосил карда шуданд, максимуми хурд пайдо мешавад, ки бо модификатсияи гексогоналии CdTe мутобиқ аст.

Кристаллитҳо асосан бо ҳамвории (111) ё (220), ки ба ҳамвории зерлавҳа мувозианд, самт мегиранд. Андозаи онҳо, ки бо формулаи Шерер ҳисоб карда шудааст бо афзоиши ҳарорати оташкорӣ бузург мешаванд: бо ҳароратҳои 428, 509 ва 585 К андозаи кристаллитҳо мувофиқан ба 180, 250 ва 600 Å⁰ баробаранд. Ноқилияти электрикии пардаҳо дар ҳарорати 573 К хурд аст (дар ҳудуди 10⁻⁸ (ом⁻¹·см)⁻¹).

Вобастагии тайфи гузариш аз технологияи синтези пардаҳо. Тайфи гузариши инфрасурхи наздики пардаҳои CdTe дар зерлавҳаи шишагин бо ёрии спектрофотометри UR14AM омӯхта шудааст. Дарозии мавҷро дар ҳудудҳои 0,68-2,5 мкм тағйир метавон дод..



Расми 1. Спектри гузашти пардаҳои теллуриди кадмий дар ҳароратҳои гуногун ва суръати собити афзоиши ғафсии пардаҳо (3 нм/с): а – 543, в – 504, с – 455, д – 303 К.
Рис. 1. Спектр пропускания пленок теллурида кадмия при различных температурах и фиксированной скорости роста толщины пленки (3 нм/с): а – 543, в – 504, с – 455, д – 303 К.

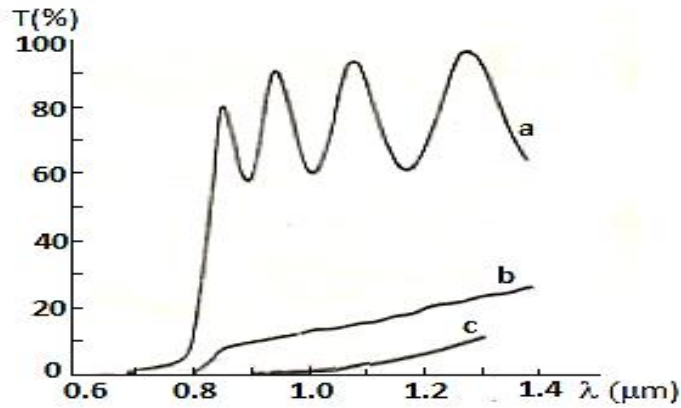
Fig. 1. Transmission spectrum of cadmium telluride films at different temperatures and a fixed growth rate of film thickness (3 nm/s): a – 543, в – 504, с – 455, д – 303 К.

Васеъгии тайфи манбаъ ба 0,6-1,6 нм баробар аст. Тайфи гузашти пардаҳои дорои параметрҳои технологияи гуногун мавриди омӯзиш қарор дода шуд. Ҳангоми афзоиши ғафсии парда дар ҳароратҳои паст ва суръатҳои муътадил тайф дорои гузашти калон ва канори тези гузаштро барои пардаҳое, ки дар ҳароратҳои наздик ба 533 К ва аз он баланд ҳосил карда шудаанд, доро мешавад. Барои ҳароратҳои хурд зариби гузашт коҳиш ёфта возеҳии канори фурубурд қисман хурд мешавад.

Дар расми 1 намунаи тайфҳо барои чор парда дар ҳароратҳои гуногун ва буғшавии якқарата нишон дода шудааст. Возеҳии тайф дар пардаҳое, ки дар ҳароратҳои баланд ва суръатҳои пасту муътадил ҳосил карда шудаанд аз суръати афзоиши ғафсии парда вобастагӣ надоранд. Аммо дар сурати ба 10 нм/с ё аз он баланди суръат нури гузашт назаррас коҳиш меёбад.

Дар расми 2 тайфи пардаҳое оварда шудааст, ки дар ҳарорати 573 К ва суръатҳои гуногун, ҳосил карда шудаанд. Аён аст, ки тайфи возеҳи дақиқи гузашт ҳангоми суръати $v = 5$ нм/с мушоҳида мешавад, вале дар сурати афзоиши суръат то 10 нм/с ва аз он боло зариби гузашт даҳҳо маротиба хурд мешавад.

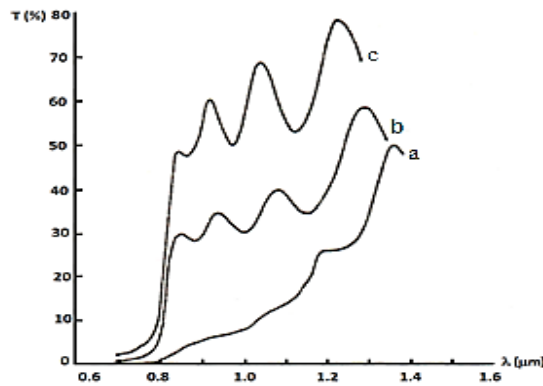
Оташкорӣ ҳангоми 673 К дар фазои нитроген, барои пардаҳое, ки дар ҳарорати баланд ва суръатҳои на чандон калон ҳосил карда шудаанд возеҳии дақиқи тайфро тағйир намедиҳад. Вале дар ҳолате, ки пардаҳо дар ҳарорати паст ҳосил карда шудаанд, оташкорӣ гузаштро калон ва возеҳии канори гузаштро беҳ менамояд (расми 3). Тайфи ба ҳамин монандро дар пардаҳои дар ҳароратҳои баланд ва суръатҳои калон ҳосил карда низ мушоҳида карда шуд. Бо возеҳии тайф ғашҳо таъсир намерасонанд.



Расми 2. Тайфи гузашти пардаҳо дар ҳарорати 573 К бо суръатҳои гуногуни афзоиши ғафсии пардаҳо: а – 5 нм/с, в – 10 нм/с, с – 19 нм/с.

Рис. 2. Спектр пропускания пленок при температуре 573 К с различной скоростью роста толщины пленки: а – 5 нм/с, в – 10 нм/с, с – 19 нм/с.

Fig. 2. Transition spectrum of films at a temperature of 573 K with different growth rates of film thickness: а – 5 nm/s, в – 10 nm/s, с – 19 nm/s.



Расми 3. Тайфи гузашти пардаҳои дар ҳарорати 453 К ва 2 нм/с ҳосил кардашуда: а – беоташкорӣ, в – баъди оташкорӣ дар фазои нитроген дар ҳарорати 673 К дар тули 1 соат, с – баъди оташкорӣ дар фазои нитроген дар ҳарорати 673 К дар тули 2 соат.

Рис. 3. Спектр пропускания пленок, изготовленных при 453 К и 2 нм/с: а - без отжига, в - после отжига в атмосфере азота при температуре 673 К в течение 1 часа, в - после отжига в атмосфере азота при температура 673 К за 2 часа.

Fig. 3. Transmission spectrum of films produced at 453 K and 2 nm/s: а - without annealing, в - after annealing in a nitrogen atmosphere at a temperature of 673 K for 1 hour, с - after annealing in a nitrogen atmosphere at a temperature of 673 K for 2 hours.

Ҳисоби параметрҳои оптикӣ. Барои туфайли тайфи гузашт ҳисоб кардани параметрҳои оптикӣ мо аз усули дар қорҳои [7, 8] дарҷ ёфта истифода бурдем. Мутобиқи модели, ки дар [8] инъикос ёфтааст, бузургии зарифи таҷрибавии гузашт $T_{таҷ}$ барои системаҳои фурубурди хурди парда-зерлава бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$T_{таҷ} = \frac{16n_2^2 n_3}{P}, \quad (1)$$

ки дар инҷо

$$P = (n_2 + 1)^2 (n_3^2 + n_2) e^{\gamma_2} - (n_2 - 1)^3 (n_3^2 + n_2) e^{-\gamma_2} + (-1)^m \dots 2(n_2^2 - 1)(n_3^2 - n_2^2). \quad (2)$$

Аз ифодаи (2) $T_{таҷ}$ – ро барои ҳолати $\gamma_2 = 0$ ҳосил мекунем:

$$T_{0 \text{ таҷ}} = \frac{2 n_3}{n_1^2 + 1} \quad (3) \quad (\text{ҳангоми } m \text{ чуфт будан})$$

$T_{0 \text{ таҷ}}$ – бузургии $T_{\text{таҷ}}$ ҳангоми $\gamma_2 = 0$

Ҳангоми тоқ будани m ҳосил менамоем:

$$T_{0 \text{ таҷ}} = \frac{4 n_3^2 n_3}{(n_2^2 + 1)(n_3^2 + n_2^2)} \quad (4)$$

m – тартиби интерференсия, n_2 – зариби шикасти парда, n_3 – зариби шикасти зерлавҳа.

Аъзои $e^{\pm i\gamma}$ – ро то аъзои дуоми γ_2 ба қатор паҳн карда формулаи 1-ро барои қиматҳои тоқи m ба намуди зерин пешниҳод намудан мумкин аст:

$$T_{\text{таҷ}} = T_{0 \text{ таҷ}} \left[1 - A \gamma_2 + \left(A^2 - \frac{B}{2} \right) \gamma_2^2 \right], \quad (5)$$

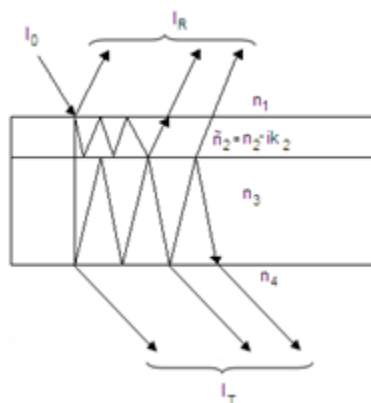
ки $T_{0 \text{ таҷ}}$ аз ифодаи (4) ва бузургиҳои A ва B бо формулаҳои зерин муайян карда мешаванд:

$$A = \frac{(n_3^2 + n_2)(n_2 + 1)^3 + (n_3^2 - n_2)(n_2 - 1)^3}{4(n_2^2 + 1)(n_3^2 + n_2^2)},$$

$$B = \frac{(n_3^2 + 2)(n_2 + 1)^3 - (n_3^2 - n_2)(n_2 - 1)^3}{4(n_2^2 + 1)(n_3^2 + n_2^2)}.$$

Барои муайян кардани собатаҳои оптикии пардаҳои тунук методи бисе содда, ки ба ченкунии интенференсия тибқи тайфи гузашт, ҳангоми афтиши дастаи нур ба намуна (парда) таҳти кунҷи наздик ба нормалӣ асос карда шудааст, истифода бурда шуд. Усули мазкур барои сохтани дастгоҳи махсус зарурат надорад.

Одатан ба сифати зерлавҳа лавҳаи ҳамвори нишондоди шикасташ n_3 – ро истифода мекунанд. Дар сатҳи лавҳа (зерлавҳа) қабати суфт фурубарандаи нишондоди шикасташ номаълум $\bar{n}_2 = n_2 - ik_2$ – ро мегузоранд. Ба сифати муҳити маҳдудкунанда ҳаво, ки $n_1 = n_4 = 1$ аст, қабул карда мешавад. Намуди буриши чунин система ва рафти нурҳо, дар расми 4 акс ёфтааст. Барои муайян намудани собатаҳои оптикии зерлавҳа ва парда $-n_3$, n_2 ва k_2 зарурати чен кардани вобастагии тайфи зариби гузашти танҳо зерлавҳа T_0 ва зариби гузашти системаи парда-зерлавҳа ба миён меояд. Қайди тақсимоти тайфии зариби гузашти системаи парда-зерлавҳа бояд тавре гузаронида шавад, ки дар як спектрограмма хатҳои базагии гузашт 100% ва гузашти сифрӣ, қачхати спектралӣ гузашти зерлавҳа бе парда ва қачхати спектралӣ зариби гузашти системаи тадқиқшаванда ба қайд гирифта шаванд.



Расми 4. Буриши схемавии системаи парда-зерлавҳа ва рафти нурҳо дар он: I_0 – нури афтанда, I_T – нури гузашт, I_R – нури инъикос.

Рис. 4. Схематическое сечение системы пленок-подложка и ход лучей в ней: I_0 – падающий свет, I_T – проходящий свет, I_R – отраженный свет.

Fig. 4. Schematic cross-section of the film-substrate system and the path of rays in it: I_0 – incident light, I_T – transmitted light, I_R – reflected light.

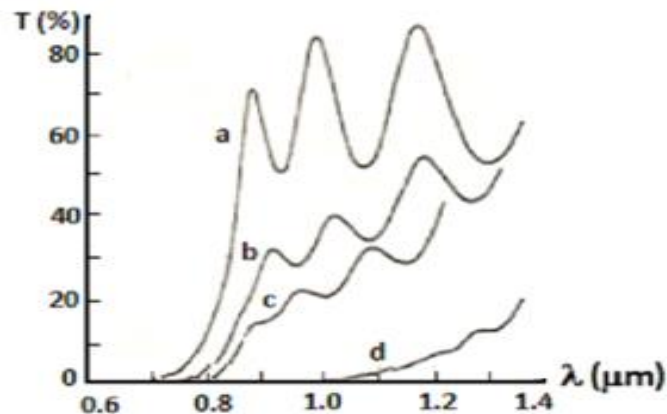
Мутобиқи формулаи (2) дар ғайби фурубурд дар парда қиматҳои экстремалии интерференсия ба қиматҳои ҳафтӣ m мутобиқ, ба графикаи тақсироти спектралӣ зареби гузашти зерлавҳа бояд ҳамранг бошанд. Қиматҳои пасти зареби гузашт дар экстримумҳо мушоҳида шаванд шаҳодати он аст, ки дар парда фурубурди суғ қой дорад. Қайд бояд кард, ки аз формулаи (2) ҳулосаи зерин низ бар меояд: агар экстримумҳои зареби гузашти системаи парда-зерлавҳа бо қиматҳои тоқи m мувофиқ, нисбат ба бузургии зареби гузашти зерлавҳа хурдтар бошад, онгоҳ нишондоди шикасти парда аз нишондоди шикасти зерлавҳа калон аст.

Агар қимати экстремалии бузургии зареби гузашти система, ки ба бузургии тоқи m мувофиқ аст аз зареби гузашти зерлавҳа боло ҳолад, онгоҳ зареби шикасти парда аз зареби шикасти зерлавҳа хурд аст. Ҳамин тариқ спектрограммаи дар расми 5, (хати а) оварда нишон медиҳад, ки парда фурубурди хурд дошта, нишондоди шикасти он аз нишондоди шикасти зерлавҳа калон аст.

Тибқи спектрограммаи таҷрибавӣ усули ҳисобу китоби собатаҳои оптикоро муоина менамоем. Сараввал қиматҳои дақиқӣ дарозии мавҷро, ки ба экстремуми зареби гузашти системаи парда-зерлавҳа мувофиқ аст, дида мебароем. Пас аз он барои ҳар як экстремум тартиби интерференсияи онро мутобиқи формулаи зерин муайян мекунанд:

$$m = \frac{\lambda_{m+1}}{\lambda_m - \lambda_{m+1}},$$

ки λ_m ва λ_{m+1} дарозии мавҷи ду экстремуми ҳамсоя.

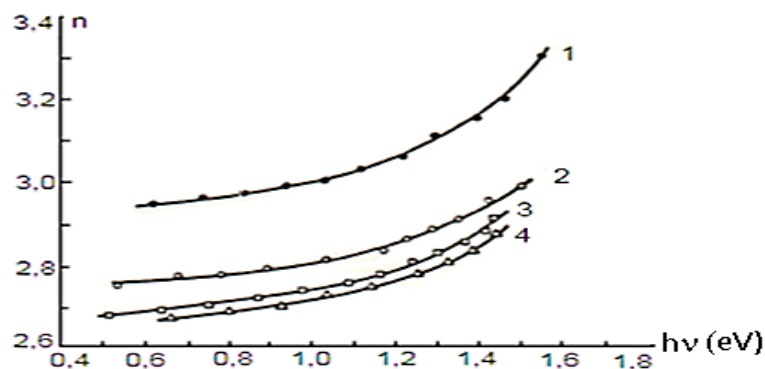


Расми 5. Спектри гузашти пардаҳои теллуриди кадмий дар ҳароратҳои гуногун ҳосил кардашуда ва суръати собити афзоиши ғафсии пардаҳо (3 нмс^{-1}); а- 543 К; в - 504 К; с - 455 К; д - 303 К.

Рис. 5. Спектр пропускания пленок теллурида кадмия, полученных при различных температурах и фиксированной скорости роста толщины пленки (3 нмс^{-1}); а- 543 К; в – 504 К; в – 455 К; д - 303 К.

Fig. 5. Transmission spectrum of cadmium telluride films obtained at different temperatures and a fixed growth rate of film thickness (3 нмс^{-1}); а- 543 К; с – 504 К; с – 455 К; д - 303 К.

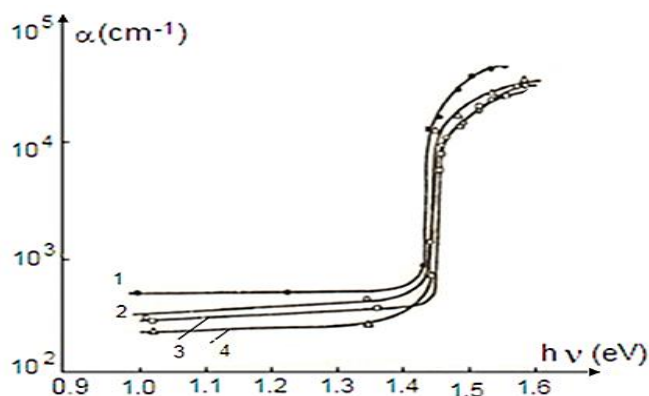
Собитаҳои оптикӣ n_2 ва k_2 (нишондоди шикаст ва зароби сустшавӣ) пардаҳо барои ягон дарозии мавҷи λ_m , ба экстремумҳои тоқ ё ҷуфт мутобиқ бо формулаҳои (1-4) муайян карда мешаванд. Бо истифода аз ин формулаҳо вобастагии зароби шикасти парда ва зароби фурубурди пардаҳоро аз дарозии мавҷ, яъне аз энергияи квантҳо $h\nu$, барои пардаҳои дар шароити гуногуни технологӣ ҳосил карда, месозем (расми 6 ва 7).



Расми 6. Вобастагии зароби фурубурди пардаҳо бо афзоиши параметрҳо аз энергияи фотон $h\nu$, ки дар ҷадвали 1 акс ёфтааст: 1 - (•) намунаи В, 2 - (○) Е, 3 - (□) Г, 4 - (Δ) Д.
Рис. 6. Зависимость коэффициента поглощения пленок с увеличением параметров от энергии фотонов $h\nu$, что отражено в таблице 1: 1 – (•) образец В, 2 – (○) Е, 3 – (□) Г, 4 – (Δ) Д.

Fig. 6. Dependence of the absorption coefficient of films with increasing parameters on the photon energy $h\nu$, which is reflected in Table 1: 1 – (•) sample В, 2 – (○) Е, 3 – (□) Г, 4 – (Δ) Д.

Вобастагии собитаҳои оптикӣ ва васеъгии зонаи мамнуъ аз технологияи ҳосил кардани пардаҳо. Дар асоси коркарди тайфҳои дар расмҳои 1-3,5 оварда вобастагиҳои $n = f(h\nu)$ ва $\alpha^2 = f(h\nu)$ сохта шудаанд. Дар расмҳои 6, 7 вобастагии нишондоди шикаст ва зароби фурубурд аз энергияи фотон оварда шудааст. Яқбора афзудани зароби фурубурдро аз 10^{-2} см^{-1} то 10^{-4} см^{-1} дар атрофи энергияи 1,45 эВ на ҳама тасдиқ мекунанд. Аз ҳарду расм бар меояд, ки алоқаманди бо савияи ғашҳо ҷой надорад, вале суръати афзоиши ғафсии парда ба n ва α таъсири назаррас мерасонад.



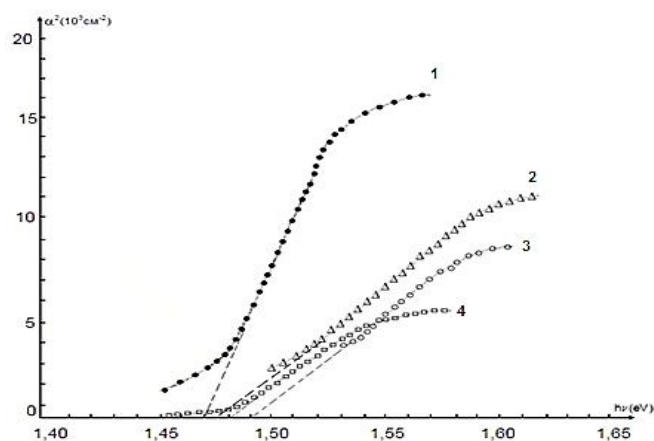
Расми 7. Вобастагии коэффиенти фурубурди як қатор пардаҳо бо афзоиши баъзе параметрҳои онҳо дар ҷадали 1 ҷой дода шуда: 1- намунаи В; 2- намунаи Е; 3- намунаи Г; 4- намунаи Д.

Рис. 7. Зависимость коэффициента поглощения ряда пленок при увеличении некоторых их параметров приведенных в таблице 1: 1 - образец В; 2- образец Е; 3- образец Г; 4- образец Д.

Fig. 7. The dependence of the absorption coefficient of a number of films with an increase in some of their parameters is shown in Table 1: 1 - sample В; 2- sample Е; 3- sample Г; 4- sample Д.

Мо вобастагиҳои $\alpha = f(h\nu)$, $\alpha^{1/2} = f(h\nu)$, $\alpha^{3/2} = f(h\nu)$ ва $\alpha^2 = f(h\nu)$ – ро сохтем ва маълум шуд, ки вобастагии хаттӣ фақат байни α^2 ва $h\nu$ ҷой дорад.

Пардаи Д андар суръати 0,5 нм с⁻¹, боқимондаҳо бо суръати 5 нм с⁻¹ (ҷадвали 1) ҳосил карда шудаанд. Чи тавре аз расми 8 дида мешавад дар соҳаи калони энергияи фотонҳо байни α^2 ва энергияи фотонҳо $h\nu$ вобастагии хаттӣ ҷой дорад. Ин маънои онро дорад, ки фурубурд (дар соҳаи афзоиши хатии зарифи α^2) ба гузариши бевоситаи байни зонавӣ алоқаманд аст. Дар ҷадвали 1 васеъгии зонаи мамнуъ, ки бо роҳи экстрополятсия ба фурубурди сифрӣ ба даст оварда шудааст, инъикос ёфтааст.



Расми 8. Вобастагии α^2 аз энергияи фотонҳо, ки гузариши бевоситаи байнизонагиро тасдиқ мекунад ва имкон медиҳад роғи оптикӣ E_g ҳисоб карда шавад: 1- намунаи В; 2- намунаи Е; 3- намунаи Д; 4- намунаи Г.

Рис. 8. Зависимость α^2 от энергии фотонов, подтверждающая прямой переход между зонами и позволяющая рассчитать оптическую щель E_g : 1- образец В; 2- образец Е; 3- образец Д; 4- пример Г.

Fig. 8. Dependence of α^2 on photon energy, confirming the direct transition between zones and allowing us to calculate the optical gap E_g : 1 - sample В; 2- image с Е; 3- sample Д; 4- example Г.

Бузургии E_g (бузургии энергияи зонаи мамнуъ) – и пардаҳо, ки дар ҳарорати наздик ба 573 К тайёр карда шудаанд ба 1,47 эВ баробар буда ва каме аз E_g монокристалл (1,49 эВ) хурдтар мебошад [9]. Ба пардаҳо, ки дар ҳарорати нисбатан паст ҳосил карда шудаанд, бузургиҳои хурди E_g мувофиқ меоянд. Оташқорӣ ин пардаҳо афзоиши E_g -ро, чун пардаҳо, ки дар ҳарорати баланд ҳосил карда шудаанд, ба амал меорад.

Ҷадвали 1

Васеғии роғи оптикӣ ва параметрҳои афзоиши ғафсии пардаҳои CdTe

Намуна	T_z , К	T_{in}^* , К	ϑ , нмс ⁻¹	Оташқорӣ	E_g (эВ)
А	433	-	2,5	бо оташқорӣ	1,42

А	433	-	2,5	бо оташкорӣ	1,47
Б	473	-	0,9	бе оташкорӣ	1,46
Б	473	-	0,9	бо оташкорӣ	1,47
В	548	-	0,5	бе оташкорӣ	1,47
Г	573	-	4,5	бе оташкорӣ	1,49
Д	573	800	4,5	бе оташкорӣ	1,49
Е	573	850	5,0	бе оташкорӣ	1,49

T_{in}^* - ҳарорати сатҳи индий

Дар асоси натиҷаҳои оварда ба хулоса омадан мумкин аст, ки байни тайфи гузашти пардаҳои CdTe ва параметрҳои технологӣ (суръат, ҳарорати зерлавҳа, ҳарорати оташкорӣ, ва ғ.) робитаи хуб мавҷуд аст. Гузашти калон ва возеҳии дақиқи канорӣ фурубурд барои пардаҳо ҷой доранд, ки дар ҳараратҳои баланд ва суръатҳои миёна ё паст ҳосил карда шудаанд.

Хурдшавии гузашти нурҳои ИС ва талафи возеҳии канори фурубурд дар пардаҳои дигар мумкин аст ба он алоқаманд аст, ки механизми фурубурд аз гузариши байнизонавии идеалӣ тафовут дорад.

Маълум, ки фурубурди сарҳади байникристаллӣ аз фурубурд дар ҳуди кристаллит фарқ дорад. Мавҷудияти теллури озод дар баъзе пардаҳо маънои онро дорад, ки барои онҳо тайфи гузашт аз идеалӣ фарқ мекунад. Баъзе тадқиқотчиён ин намуди тайфро ба мавҷудияти теллури озод алоқаманд меҳисобанд, вале чунин намуди тайфро мо ҳатто дар пардаҳое, ки теллури озод вучуд надорад, мушоҳида намудем.

Механизми дигари пайдоиши ин гуна тайфро ба поликристаллӣ будани парда алоқаманд меҳисобанд. Дар солҳои охир барои фаҳмиши табиати сарҳади кристаллитҳо ва таъсири он ба хосиятҳои пардаҳои тунуки поликристаллӣ корҳои зиёде анҷом дода шудаанд. Вале нисбати таъсири сарҳади байникристаллӣ ба хосиятҳои оптикии пардаҳо натиҷаҳо начандон зиёданд [10].

Хосиятҳои сарҳади кристаллитҳо (соҳаи бетартиб ҷой гирифтани атом ва молекулаҳо ва макони ғуншавии ғашҳои гуногун) аз хосиятҳои кристаллитҳо кулан фарқ дорад ва онҳо ҳангоми хурд будани андозаи кристаллитҳо ба фурубурд таъсири калон мерасонанд. Ин саҳм имкон медиҳад, ки сарҳади кристаллитҳо ҳамчун фазои аморфӣ қабул шаванд [11, 12]. Новобаста аз равандҳое, ки иштироқи сарҳади кристаллитҳоро ба фурубурд таъмин мекунанд, мусаллам аст, ки дараҷаи ноқомии кристаллитҳо зариби фурубурдро коҳиш медиҳад.

Ҳамин тариқ аз ҳамбастагии байни тайфи гузашт ва параметрҳои технологӣ бармеояд, ки ҳарорати баланд ва суръатҳои начандон калон дар пардаҳои поликристаллӣ, кристаллҳои калон пайдо мешаванд, ки хосиятҳои оптикиашон ба хосиятҳои оптикии монокристаллҳо наздиканд.

Дар асоси таҳлили дар боло оварда метавон тасдиқ кард, ки оташкорӣ ба кристаллнокии пардаҳо (андоза ва тамоюлноки) ва пас ба тайфи гузашт таъсир мекунад.

Хурдшавии васеъгии зонаи мамнуъ Eg дар пардаҳо дар ҳарорати аз 573 К паст, ҳамчунон калон шудани он ҳангоми оташкорӣ, мумкин аст ба мавҷудияти

соҳаҳои дорои зичии калони савияҳои энергия дар наздикии тасмаи энергия, ки баландшавии канори поёнии тасмаи фурубурдро ба амал меорад, алоқаманд бошад. Ҳамин нуқтаи назарро барои пардаҳои поликристаллии дигар муаллифи [13] низ тасдиқ мекунад. Ин савияҳои энергӣ ба ҳолатҳои электрони сарҳади кристаллитҳо, ки зичии он ҳангоми оташкорӣ назаррас хоҳиш меёбад, алоқаманд доништа мешавад.

Дар пардаҳои ғаш, новобаста ба бузургии калони E_g , ҳамбастагии E_g ба савияи донор ҷой надорад, ки мумкин аст ба зичии хурди барандагон алоқаманд бошад [14, 15]. Азбаски гузариш (аз зонаи валентӣ ба озо) ба васеъгии роғи оптикӣ алоқаманд доништа мешавад, бинобар ин баъзе тадқиқотчиён ба он назаранд, ки гузариш бевосита аст [5, 10], дар айни замон тадқиқотчиёни дигар онро ҳам бевосита ва ҳам ғайрибевосита, бо энергияи бо ҳам бисёр наздик, пешниҳод намудаанд [2]. Дар гузашти наздик баъзе муаллифон гузариши бевоситаро инкор кардаанд [3]. Натиҷаҳои ба даст овардаи мо ҳулосаҳои корҳои пешинро тасдиқ накарданд ва гузариши бевоситаро тасдиқ намудаанд.

Адабиёт

1. Xiaoqian A. Microstructure and optical properties of CdTe thin films prepared by close spaced sublimation method at various growth temperatures / A. Xiaoqian, Y. Shun, Y. Chen, C. Shiye, J. Yunhao, S. Xiang, M. Ligang, W. Xiaoshan // *Journal of Luminescence*. – 2022. – Vol. 252. – Article 119372.
2. Кашуба А. И. Оптические свойства тонкой пленки CdTe, полученной методом высокочастотного магнетронного распыления / А. И. Кашуба, Б. В. Андриевский, Г. А. Ильчук, М. Пясецкий, И. В. Семкив, Р. Ю. Петрусь // *Журнал Белорусского государственного университета. Физика*. – 2021. – №2. – С. 88-95.
3. Кашуба А.И. Рост, кристаллическая структура и теоретические исследования энергетических и оптических свойств тонких пленок CdTe_{1-x}Se_x / А.И. Кашуба, Х.А. Ильчук, Р.Ю. Петрусь, Б. Андриевский, И.В. Семкив, Е.О. Змиевская // *Прикладная нанонаука*. – 2021. – С. 335-342.
4. Агекян В.Ф. Оптические свойства теллурида цинка с субмонослоями теллурида кадмия / В.Ф. Агекян, А.Ю. Серов, Н.Г. Философов, И.В. Штром, Г. Карчевский // *Физика твердого тела*. – 2016. Т. 58 (10). – С. 2034-2037.
5. Ilchuk H.A. Electronic band structure of cubic solid-state CdTe_{1-x}Se_x solutions/Н.А.Ильчук, В.Андриевский, О.С.Кущнир, А.И. Кашуба, I.V. Semkiv, R.Yu. Petrus // *Ukrainian Journal of Physical Optics*. – 2021. – Vol. 22 (2). – Pp. 86-94.
6. Беляев А.П. Электрические свойства пленок теллурида кадмия, синтезированных в тепловом поле градиента температуры / А.П.Беляев, В.П.Рубец, М.Ю. Нуждин // *ФТП*. – 2003. Т. 37 (6). – С. 671-673.
7. Раков А.В. Спектрофотометрия тонкопленочных полупроводниковых структур / А.В. Раков // –М.: Сов. Радио, 1975. – 175 с.
8. Хевенс О.С. Измерение оптических контакт тонких пленок / О.С. Хевенс; «Физика тонких пленок» Т.2. пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 396 с.
9. Wolf H. Defect complexes formed with Ag atoms in CdTe, ZnTe, and ZnSe. / H.Wolf, T.Filz, V. Ostheimer, J.Namann, S.Lany // *J. Crystal Growth*. – 2000. – Vol. 214-215. – Pp. 967-973.
10. Беляев, А.П. Влияние термодиффузии на совершенство кристаллической структуры, формирующейся при конденсации из паровой фазы/А.П.Беляев, В.П.Рубец, М.Ю.Нуждин, И.П.Калинкин // *ЖТФ*. – 2002. №72 (4).
11. Беляев, А.П. Электрофизические характеристики эпитаксиальных плёнок CdTe / А. П.Беляев, В. А. Зибец, И. П. Калинкин // *Изв. вузов. Физ.* – 1990. №3. – С. 71-74.
12. Беляев, А.П. Механизмы гетероэпитаксиального роста тонких пленок теллурида кадмия в тепловом поле градиента температуры / А.П. Беляев, В.П. Рубец, М.Ю. Нуждин, И.П.Калинкин // *ФТТ*. – 2001. №43 (4).
13. Чопра К., Дас. Тонкопленочные солнечные элементы / К. Чопра // Пер. с англ. с сокращениями. –М.: Мир. – 1986. – 360 с.
14. Султонов Н., и др. Влияние структуры на перенос тока в пленках теллурида кадмия разной толщины/Н.Султонов, А.Т. Ақобирова, Р.Б. Хамроқулов, Б.А. Раҳматов, У.Р. Наимов, О.В. Гафуров// *Известия вузов. Физика*. – 2023. Т. 66. № 1 (782). – С. 30-35.
15. Султонов Н. Вобастагии васеъгии зонаи мамнӯъ аз технология ҳосил кардани пардаҳои теллуриди кадмий/Н. Султонов, А.Т. Ақобирова, Р.Б.Хамроқулов, У.Р.

Наимов//Маводҳои конференсияи илми байналмиллаи «Проблемаҳои муосири физикаи ҳолатҳои конденсӣ». – Душанбе. – 2023. – С.168-172.

REFERENCES

1. Xiaoqian, A. Microstructure and optical properties of CdTe thin films prepared by close spaced sublimation method at various growth temperatures/A. Xiaoqian, Y. Shun, Y. Chen, C. Shiye, J. Yunhao, S. Xiang, M. Ligang, W. Xiaoshan// Journal of Luminescence. – 2022. – Vol. 252. – Article 119372.
2. Kashuba, A. I. Optical properties of a thin CdTe film obtained by high-frequency magnetron sputtering/A.I.Kashuba, B. V. Andrievsky, G. A. Ilchuk, M. Pyasetsky, I. V. Semkiv, R. Yu Petrus // Journal of the Belarusian State University. Physics. – 2021. – No. 2. – Pp. 88-95.
3. Kashuba, A.I. Growth, crystal structure and theoretical studies of the energy and optical properties of thin films of CdTe1 – xSex / A.I. Kashuba, H.A. Ilchuk, R.Yu. Petrus, B. Andrievsky, I.V. Semkiv, E.O. Zmievskaya // Applied nanoscience. – 2021. – Pp. 335-342.
4. Agekyan, V.F. Optical properties of zinc telluride with cadmium telluride submonolayers / V.F. Agekyan, A.Yu. Serov, N.G. Filosofov, I.V. Shtrom, G. Karchevsky // Solid State Physics. – 2016, Vol. 58 (10). – Pp. 2034-2037.
5. Ilchuk H.A. Electronic band structure of cubic solid-state CdTe1 – xSex solutions / H.A. Ilchuk, B. Andrievsky O.S. Kushnir, A.I. Kashuba, I.V. Semkiv, R.Yu. Petrus // Ukrainian Journal of Physical Optics. – 2021. – Vol. 22 (2). – Pp. 86-94.
6. Belyaev A.P. Electrical properties of cadmium telluride films synthesized in the thermal field of a temperature gradient / A.P. Belyaev, V.P. Rubets, M.Yu. Nuzhdin // SSPh. – 2003. Vol. 37(6). – Pp. 671-673.
7. Rakov A.V. Spectrophotometry of thin-film semiconductor structures / A.V. Rakov // – M.: Sov. Radio. – 1975. – 175 p.
8. Havens O.S. Measuring optical contacts of thin films / O.S. Havens; “Physics of thin films” Vol.2. lane from English. – M.: Mir, 1967. – 396 p.
9. Wolf H. Defect complexes formed with Ag atoms in CdTe, ZnTe, and ZnSe/H.Wolf, T.Filz, V. Ostheimer, J.Hamann, S.Lany// J. Crystal Growth. – 2000. – Vol. 214-215. – Pp. 967-973.
10. Belyaev, A.P. The influence of thermal diffusion on the perfection of the crystal structure formed during condensation from the vapor phase / A.P. Belyaev, V.P. Rubets, M.Yu. Nuzhdin, I.P. Kalinkin // Technical Physics. – 2002. No. 72 (4).
11. Belyaev, A.P. Electrophysical characteristics of epitaxial CdTe films / A.P. Belyaev, V.A. Zibets, I.P. Kalinkin // Izv. universities Phys. – 1990. No. 3. – Pp. 71-74.
12. Belyaev, A.P. Mechanisms of heteroepitaxial growth of thin films of cadmium telluride in the thermal field of a temperature gradient / A.P. Belyaev, V.P. Rubets, M.Yu. Nuzhdin, I.P.Kalinkin // SSPh. – 2001. No. 43 (4).
13. Chopra K., Das. Thin-film solar cells/K. Chopra // Transl. from English with abbreviations. – M.: Mir. – 1986. – 360 p.
14. Sultonov N., et al. Influence of structure on current transfer in cadmium telluride films of different thicknesses / N. Sultonov, A.T. Akobirova, R.B. Khamrokulov, B.A. Rakhmatov, U.R. Naimov, O.V. Gafurov // News of universities. Physics. – 2023. Vol. 66. No. 1 (782). – Pp. 30-35.
15. Sultonov N. Dependence of the width of the forbidden zone on the technology of production of cadmium telluride screens / N. Sultonov, A.T. Akobirova, R.B. Hamrokulov, U.R. Naimov // Proceedings of the international scientific conference "Modern problems of condensed matter physics". – Dushanbe.- 2023. – Pp. 168-172.

УСУЛИ ОПТИКӢИ МУАЙЯН НАМУДАНИ ВАСЕЪӢИ ГУЗАРИШИ БАӢНИ ЗОНАӢИ ПАРДАӢОИ ТУНУКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИИ CdTe ВА ВОБАСТАӢИ ОН АЗ ТЕХНОЛОӢИЯИ СИНТЕЗИ ПАРДАӢО

Дар мақола тайфи гузашти ИС (инфрасурхи) наздики пардаҳои тунуки теллуриди кадмий, ки дар ҳароратҳои гуногун ва суръатҳои гуногуни афзоиши ғафсии парда ҳосил карда шудааст, омукта шудааст; шарти ҳосил кардани пардаҳои дорой гузариши баланд ва канори возеҳи тасмаи (соҳаи) фурубурди хос муайян карда шудааст. Бо истифода аз тайфи гузашт, зариби инъикос, фурубурд ва роғи тасмаи оптикӣ (E_g) – и пардаҳо ҳисоб карда шудааст. Гузаришҳои оптикӣ дар асоси фарзияи гузариши бевоситаи байни зинавӣ муайян карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки хосиятҳои сарҳади кристаллитҳо (соҳаи бетартиб ҷой гирифтани атом ва молекулаҳо ва макони ғуншавии ғашҳои гуногун) аз хосиятҳои кристаллитҳо кулан фарқ дорад ва онҳо ҳангоми хурд будани андозаи кристаллитҳо ба фурубурд таъсири калон мерасонанд. Ин саҳм имкон медиҳад, ки сарҳади кристаллитҳо ҳамчун фазои аморфӣ қабул шавад. Новобаста аз равандҳои, ки иштироки сарҳади кристаллитҳоро ба фурубурд таъмин мекунанд, мусаллам аст, ки дараҷаи ноқилии кристаллитҳо зариби фурубурдро коҳиш медиҳад. Ҳамин тариқ аз ҳамбастагии байни тайфи гузашт ва параметрҳои технологӣ бармеояд, ки ҳарорати баланд ва суръатҳои начандон калон дар

пардаҳои поликристаллӣ, кристаллҳои калон пайдо мешаванд, ки хосиятҳои оптикӣ ба хосиятҳои оптикӣ монокристаллҳо наздиканд. Дар асоси таҳлили дар боло оварда метавон тасдиқ кард, ки оташкорӣ ба кристаллнокии пардаҳо (андоза ва тамоюлноки) ва пас ба тайфи гузашт таъсир мекунад. Хурдшавии васеъгии зонаи мамнуъ E_g дар пардаҳо дар ҳарорати аз 573 К паст, ҳамчунон калон шудани он ҳангоми оташкорӣ, мумкин аст ба мавҷудияти соҳаҳои дорои зичии калони савияҳои энергӣ дар наздикии тасмаи энергӣ, ки баландшавии канори поёнии тасмаи фурубурдро ба амал меорад, алоқаманд бошад.

Калидвожаҳо: сохтор, нурборонкунӣ, радиуси ион, ноқилият, муқовимати хос, суръат, монокристалл, поликристалл, барандагон, тайф.

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ МЕЖЗОННОГО ПЕРЕХОДА ТОНКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК CdTe И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ПЛЕНОК

В статье исследован спектр перехода в ближнюю ИК (инфракрасную область) тонких пленок теллурида кадмия, полученных при разных температурах и с разной скоростью роста толщины пленки; определены условия создания пленок с высокой проницаемостью и четкой границей полосы (площади) удельного снижения. По спектру пропускания были рассчитаны коэффициент отражения, поглощения и оптическая запрещенная зона (E_g) пленок. Оптические переходы определяются на основе предположения о прямом межфазном переходе. Показано, что свойства границы кристаллитов (область неупорядоченного размещения атомов и молекул и место скопления различных газов) сильно отличаются от свойств кристаллитов и оказывают большое влияние на восстановление, когда размер кристаллитов мал. Этот вклад позволяет рассматривать границу кристаллитов как аморфное пространство. Независимо от процессов, обеспечивающих участие границ кристаллитов в осаждении, очевидно, что степень несовершенства кристаллитов снижает скорость осаждения. Таким образом, из корреляции спектра перехода с технологическими параметрами следует, что при высоких температурах и низких скоростях в поликристаллических пленках появляются крупные кристаллы, оптические свойства которых близки к оптическим свойствам монокристаллов. На основании приведенного выше анализа можно подтвердить, что отжиг влияет на кристалличность пленок (размер и ориентацию), а затем и на спектр перехода. Уменьшение ширины запрещенной зоны E_g в пленках при температуре ниже 573 К, а также ее увеличение при отжиге могут быть связаны с наличием вблизи энергетической зоны областей с высокой плотностью энергетических уровней, что увеличивает нижний край полосы излучения.

Ключевые слова: структура, облучение, ионный радиус, проводимость, удельное сопротивление, скорость, монокристалл, поликристалл, проводники, спектр.

OPTICAL METHOD FOR DETERMINING THE INTERZONE TRANSITION WIDTH OF THIN POLYCRYSTALLINE CdTe FILMS AND ITS DEPENDENCE ON FILM SYNTHESIS TECHNOLOGY

The article examines the spectrum of the transition to the near-IR (infrared region) of thin films of cadmium telluride obtained at different temperatures and with different growth rates of film thickness; The conditions for creating films with high permeability and a clear boundary of the band (area) of specific reduction have been determined. From the transmission spectrum, the reflectance, absorption, and optical band gap (E_g) of the films were calculated. Optical transitions are determined based on the assumption of a direct interfacial transition. It is shown that the properties of the crystallite boundary (the region of disordered arrangement of atoms and molecules and the location of the accumulation of various gases) are very different from the properties of crystallites and have a great influence on recovery when the crystallite size is small. This contribution allows us to consider the crystallite boundary as an amorphous space. Regardless of the processes that ensure the participation of crystallite boundaries in deposition, it is obvious that the degree of imperfection of crystallites reduces the deposition rate. Thus, from the correlation of the transition spectrum with technological parameters, it follows that at high temperatures and low speeds, large crystals appear in polycrystalline films, the optical properties of which are close to the optical properties of single crystals. Based on the above analysis, it can be confirmed that annealing affects the crystallinity of the films (size and orientation) and subsequently the transition spectrum. The decrease in the band gap E_g in films at temperatures below 573 K, as well as its increase during annealing, can be associated with the presence of regions with a high density of energy levels near the energy band, which increases the lower edge of the emission band.

Key words: structure, irradiation, ionic radius, conductivity, resistivity, speed, single crystal, polycrystal, conductors, spectrum.

Маълумот дар бораи муаллиф: Султонов Низом – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, д.и. ф.-м., профессори кафедраи электроникаи физикӣ. **Суроға:** 734025, Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Тел.:** 988003588. **E-mail:** sultonov_nizom@mail.ru.

Акобирова Азиза Тошпулатовна – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и. ф.-м., дотсенти кафедраи электроникаи физикӣ. **Суроға:** 734025, Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, **Тел.:** (+992) 907917626. **E-mail:** aziza.akobirova@mail.ru.

Ҳамроқулов Раҷабмурод Бадриддинович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и. ф.-м., дотсенти кафедраи электроникаи физикӣ. **Суроға:** 734025, Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Тел.:** (+992)904160775. **E-mail:** h.rajabmurod@mail.ru.

Сведения об авторах: Султонов Низом – Таджикский национальный университет, д.ф.-м.н., профессор кафедры физической электроники. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.:** 988003588. **E-mail:** sultonov_nizom@mail.ru.

Акобирова Азиза Тошпулатовна – Таджикский национальный университет, к.ф.-м.н., доцент кафедры физической электроники. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.:** (+992) 907917626. **E-mail:** aziza.akobirova@mail.ru

Ҳамроқулов Раҷабмурод Бадриддинович – Таджикский национальный университет, к.ф.-м.н., доцент кафедры физической электроники. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.:** (+992) 904160775. **E-mail:** h.rajabmurod@mail.ru.

Information about the authors: Sultonov Nizom–Tajik national university, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Physical Electronics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** 988003588. **E-mail:** sultonov_nizom@mail.ru.

Akobirova Aziza Toshpulatovna–Tajik national university, Ph.D., Associate Professor, Department of Physical Electronics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 907917626. **E-mail:** aziza.akobirova@mail.ru.

Hamrokulov Rajabmurod Badriddinovich–Tajik National University, Ph.D., Associate Professor of the Department of Physical Electronics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992)904160775. **E-mail:** h.rajabmurod@mail.ru.

ТДУ 574.2; 631.415.1(575.3)

ТАҲҚИҚОТИ МЕТАЛҲОИ ВАЗНИН ДАР ТАРКИБИ ГИЁҲИ ШИФОБАХШИ
ГУЛИ ХАЙРӢ (*ALTHAEA OFFICINALIS*)

*Валиев Н.Р., Абдуллаев С.Ф.

Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови АМИТ,

*Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абуабдулоҳи Рӯдакӣ

Муқаддима. Барои аксарияти аҳолии ҷаҳон растаниҳои шифобахш манбаи асосии ниғаждорӣ тандурустиро ташкил медиҳанд. Тавре ки Созмони Байналмилалӣ Тандурусти гузориш додааст, тақрибан 80% одамон дар ҷамоатҳои гирду атроф танҳо гиёҳҳои шифобахшро барои табобати бисёр бемориҳои истифода мекунанд. Имрӯзҳо манфиатҳои зиёди илмӣ барои таҳияи маҳсулоти растани ҳамчун иловаҳои парҳезӣ вучуд доранд [1– 7].

Тоҷикистон ҳам кишвари беназир буда, масоҳаташ на он қадар калон, вале дорои растаниҳои гуногуни табобатӣ аст ва дар ин ҷо қариб ҳама намуди шароитҳои иқлимӣ мушоҳида мешавад: аз субтропикӣ то арктикӣ. Дар ин миён минтақаҳоеро вохурдан мумкин аст, ки сатҳи радиатсияи табияшон гуногун буда, ба таркиб, хосиятҳои физикӣ – кимиёвӣ ва табобатии растаниҳо бетаъсир нест. Аз ин лиҳоз, таҳқиқи хосиятҳои физикӣ– химиявии таркиби растаниҳо ва ҳок, бешубҳа доираи истифодаи растаниҳои шифобахшро васеъ намуда, истифодаи натиҷаҳои таҳқиқот дар соҳаи дорусозӣ аҳамияти калони амалӣ дорад [7].

Вақте ки растаниҳоро дар табобати баъзе бемориҳои истифода мекунанд, бояд донист, ки ба ғайр аз таъсири фармакологӣ ва экологии онҳо, растаниҳои шифобахш метавонанд дар сурати зиёд шудани миқдори металлҳои вазнин дар онҳо захролуд шаванд. Гарчанде ки самаранокии гиёҳҳои шифобахш асосан бо ҷузъҳои онҳо, аз қабилҳои равғанҳои эфирӣ ва метаболитҳои дуҷумдараҷа алоқаманд аст, ба назар гирифта мешавад, ки истеъмоли дарозмуддат метавонад боиси мушкилот ба саломатӣ гардад, агар металлҳои вазнин ба монанди Pb, Cd, Zn, Ni ва дигар ифлосҳо аз концентратсияи ҳадди аксар зиёд бошанд, растаниҳо метавонанд ҳангоми парвариш ё дертар дар марҳилаи коркард бо металлҳои вазнин ба осони олула шаванд. Дар баробари дигар ифлоскунандаҳо, металлҳои вазнин метавонанд ба муҳити зист тавассути фаъолиятҳои саноатӣ, партовҳои коммуналӣ, партовҳои автомобилҳо, пеститсидҳо ва нуриҳои дар кишоварзи истифода карда шуда ворид шаванд. Растаниҳои шифобахшро метавон барои тайёр кардани доруҳои анъанавӣ ва инфузияҳои гиёҳӣ истифода бурд, агар миқдори металлҳои вазнин аз ҳадди муайян камтар бошад. Аз ин рӯ, назорат кардани концентратсияи металлҳои вазнин ҳам дар растаниҳои шифобахш ва ҳам маҳсулоти онҳо бояд барои таъмини беҳатари ва самаранокии маҳсулоти гиёҳӣ анҷом дода шавад [1– 7].

Мақсади асосии мақола ин омӯзиши миқдори металлҳои вазнин дар таркиби узвҳои растани шифобахши “Гули хайрӣ” ва ҳоки минтақаи сабзиши растани, ки дар Вилояти Хатлон мерӯяд, иборат аст. Бо мақсади таҳқиқи миқдори металлҳои вазнин дар таркиби растани “Гули хайрӣ” намунаи растани дар шакли реша, поя, барг ва ҳамзамон ҳоки ҷои сабзиш аз кӯҳи Хочамуъмини ноҳияи Восеъи минтақаи Кӯлоби Вилояти Хатлон ҷамъоварӣ ва таҳқиқ карда шуд.

Мавод ва усули ченкунӣ. Растани шифобахши “Гули хайрӣ” аз ҷануби Тоҷикистон кӯҳи Хочамуъмини ноҳияи Восеъи минтақаи Кӯлоби Вилояти Хатлон дар мавқеи географии кӯҳи Хочамуъмини н.Восеъ 37.43⁰ а.ш. ва 69.39 т.ш. баландии 1200м аз сатҳи баҳр ҷойгир аст, ҷамъоварӣ карда шуд. Намунаҳои ҳок ва растани “Гули хайрӣ” бо усули (конверт) мувофиқи ГОСТ Р 58588– 2019 ҷамъовари карда шудааст [7– 8; 14 – 17].

Намунаҳои хок аз пасмондаҳои растанӣ тоза карда шуда, хушконида, майда карда аз элаки андозаи сурохиҳояш 0,2 мм буда гузаронида мешавад. Намунаҳои растани "Тули хайрӣ" бо реша, поя ва барг, ки аз ноҳияҳои минтақаи Кӯлоб ҷамъовари карда шуд, пас аз шустан дар ҳарорати 40 °С хушк карда шуда, баъдан майда карда аз элаки сурохиҳояш 0,2 мм гузаронида мешавад.

Муайян сохтани металлҳои вазнин дар қисмҳои алоҳидаи растани шифобахши "Тули хайрӣ" аз «СПЕКТРОСКАН МАКС- G» (истеҳсоли НПО СПЕКТРОН, РОССИЯ), ки тарзи истифодабарии бо усули рентенофлуоретсенсӣ фаъолият мекунад, истифода бурда шудааст [11– 15;19– 21]. Таҳлили як намуна дар спектроскан 40 дақиқаро дарбар мегирад

Муҳокимаи натиҷаҳо. Натиҷаҳои таҳлили миқдори МВ дар растани шифобахши "Тули хайрӣ", ки аз кӯҳи Хоҷамӯмини н.Восеъ минтақаи Кӯлоби Вилояти Хатлон ҷамъовари карда шуд, дар ҷадвали 1 нишон дода шудааст.

Ҷадвали 1. Қимати консентратсияи МВ дар таркиби растани «Тули хайрӣ»

Table 1. The concentration value of HM in the composition of the plant "Guli Khairi"

Намунаҳо	Қимати консентратсияи МВ											
	V, мг/кг	Cr, мг/кг	Ni, мг/кг	Co, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Mn, О, мг/кг	As, мг/кг	TiO ₂ , %	Sr, мг/кг	Fe ₂ O ₃ , %	Pb, мг/кг
барг	18,35	62,4 4	6,33	1,08	44,4 4	49,2 9	87,4 1	0,00	0,33	114, 58	2,38	13,5 0
поя	19,73	63,0 4	1,38	11,6 8	43,7 7	95,9 9	86,5 2	0,27	0,32	116, 71	2,14	3,83
реша	17,40	63,6 3	2,80	7,90	43,1 0	67,3 7	86,5 3	0,00	0,32	121, 02	2,42	16,9 7
миёна қиматҳо	18,49	63,0 3	3,50	6,88	43,7 7	70,8 8	86,8 2	0,09	0,32	117, 43	2,31	11,4 3
Ҳок	28,58	63,6 4	37,4 6	0,00	45,9 0	74,8 3	89,7 3	1,58	0,39	111, 42	5,81	0,00
КҲИ, дар ҳок мг/кг	100	100	100	25	55	100	1500	2	50	–	–	32
Кларк	100	150	40	8	20	50	850	6	0,46	100	3,8	10

Дар раванди таҳлил маълум гардид, ки дар таркиби хок ва "Тули хайрӣ", ки дар кӯҳи Хоҷамӯмини н.Восеъ мерӯяд, TiO₂ бо миқдори қариб якхела дар таркиби хок ва узвҳои растанӣ мавҷуд аст. Элементи Ni, Cu, MnO, TiO₂ дар барг, V, Co, Zn ва As дар поя Cr, Sr, Fe₂O₃ ва Pb нисбатан дар реша зиёд аст. Дар рафти таҳқиқот маълум карда шуд, ки элементҳои Sr нисбат ба дигар элементҳо ба ҳама қисми растанӣ ва хок зиёдтар аст.

Коэффитсиентҳои таъхир, ҷамъшавӣ ва интенсивнокии ҷиҳати тавсифи хусусиятҳои ҷамъшавии металлҳои вазнини таркиби растанӣ ҳисоб карда шуданд.

Хосиятҳои гузарандагии металлҳои вазнин дар реша ва қисмҳои болоии растанӣ (яъне қисмҳои аз хок берунӣ растанӣ) ба воситаи коэффитсиенти таъхир КТ(КЗ) шарҳ дода мешавад. [7– 8; 17– 20].

$$K3=C(\text{Э})_{\text{реша}} / C(\text{Э})_{\text{бута ва барг}}$$

ки дар ин ҷо: КТ (КЗ) – коэффитсиенти таъхир, $C(\text{Э})_{\text{реша}}$ – концентратсияи маталлҳои вазнин дар таркиби реша, $C(\text{Э})_{\text{бута}}$ ва барг концентратсияи металлҳои вазнин дар таркиби барг ва пояи растани “Гули хайрӣ” .

Раванди гузариши МВ дар массаи хушки растанӣ аз хоки минтақа вобастагии калон дорад [7– 8; 16]. Коэффитсиенти чамъшавии (КН) металлҳои вазнин ба воситаи ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$KH = C(\text{Э})_{\text{растани}} / C(\text{Э})_{\text{хок}},$$

ки дар ин ҷо: КЧ(КН) – коэффитсиенти чамъшавӣ, $C(\text{Э})_{\text{растанӣ}}$ – концентратсияи металлҳои вазнин дар массаи хушки растанӣ, $C(\text{Э})_{\text{хок}}$ – концентратсияи металлҳои вазнин дар хок.

Натиҷаи ҳисобкуниҳои КТ ва чамъшавӣ КЧ дар ҷадвали 2 нишон дода шудааст.

Чуноне ки аз ҷадвали 2 дида мешавад, КТ дар растании шифобахши “Гули хайри”, ки аз кӯҳи Хочамумини н.Восеъ чамоварӣ шудааст, барои Рb ба 0,97 баробар буда ин коэффитсиент барои дигар металлҳои вазнин аз 0,7 кам мебошад.

Раванди таҳқиқот нишон дод, ки КЧ дар растании шифобахши “Гули хайрӣ”, ки аз кӯҳи Хочамумини н.Восеъ чамоварӣ шудааст барои металлҳои вазнин Sr (1,05), Cr (0,99), Cu (0,95), Zn (0,95), MnO (0,96) ва боқимондаи металҳои вазнин КЧ аз 0,8 кам мебошад.

Ҷадвали 2. Коэффитсиентҳои таъхир ва коэффитсиенти чамъшавӣ

Table 2. Delay coefficients and accumulation coefficient

МВ	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃	Pb
КЗ	0,45	0,50	0,36	0,61	0,48	0,46	0,49	0,00	0,49	0,52	0,53	0,97
КН	0,64	0,99	0,09	0,00	0,95	0,95	0,96	0,05	0,82	1,05	0,39	–

Коэффитсиенти интенсивият барои муайян намудани гузариши металлҳои вазнин дар узвҳои растанӣ истифода карда мешавад [7– 8; 18]. Коэффитсиенти интенсивнокии гузариши металлҳои вазнин аз хок ба реша дар растани “Гули хайрӣ” ҳисоб карда шудааст. Барои ҳисоб кардани коэффитсиенти мазкур ифодаи зерин истифода бурда мешавад:

$$I_{\text{хок-реша}} = C(\text{Э})_{\text{реша}} / C(\text{Э})_{\text{хок}},$$

ки дар ин ҷо: $I_{\text{хок-реша}}$ – шиддатнокии гузариш МВ аз хок ба реша, $C(\text{Э})_{\text{реша}}$ ва $C(\text{Э})_{\text{хок}}$ – мутаносибан концентратсияи металлҳои вазнин дар реша ва хок вобаста ба минтақаи сабзиш.

Коэффитсиенти интенсивнокии гузариши металлҳои вазнин аз реша ба поя низ ҳисоб карда шуд. Ҳисобкунии коэффитсиенти интенсивнокии ҳангоми гузариши металлҳои вазнин аз реша ва поя ба воситаи ифодаи зерин анҷом дода шуд:

$$I_{\text{реша-поя}} = C(\text{Э})_{\text{поя}} / C(\text{Э})_{\text{реша}},$$

ки дар ин ҷо: $I_{\text{реша-поя}}$ – шиддатнокии гузариши МВ аз реша ба поя, $C(\text{Э})_{\text{поя}}$ ва $C(\text{Э})_{\text{реша}}$ – мутаносибан концентратсияи МВ дар поя ва реша.

Инчунин коэффитсиенти шиддатнокии (интенсивнокии) – и гузариши МВ аз поя ба барг дар расани “Гули хайрӣ” ҳисоб карда шуд. Барои ҳисоб кардани коэффитсиенти интенсивнокии гузариши металлҳои вазнин аз поя ба барг ифодаи зерин истифода бурда шуд:

$$I_{\text{поя-барг}} = C(\text{Э})_{\text{барг}} / C(\text{Э})_{\text{поя}},$$

ки дар ин ҷо: $I_{\text{поя-барг}}$ – коэффитсиенти шидатнокии (интенсивнокӣ)– и гузариши МВ аз поя ба барг, $C(\text{Э})_{\text{барг}}$ ва $C(\text{Э})_{\text{поя}}$ – мутаносибан концентратсияи МВ дар барг ва поя.

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои коэффитсиенти интенсивнокии гузариши металлҳои вазнин ҳангоми гузаришҳо аз хок ба реша, аз реша ба поя ва аз поя ба барг дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Ҷадвали 3. Коэффитсиенти шидатнокии гузариши МВ дар хок– реша– поя ва барги “Гули хайрӣ”

Table 3. Coefficient of intensity of transmission of HM in soil– root– stem and leaf of "Guli Khairi"

Коэф./МВ	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃	Pb
$I_{\text{хок-реша}}$	0,60	1,00	0,07	0,00	0,94	0,90	0,96	0,00	0,82	1,08	0,41	–
$I_{\text{реша-поя}}$	1,13	0,99	0,49	1,47	1,01	1,42	0,99	0,00	1,00	0,96	0,88	0,19
$I_{\text{поя-барг}}$	0,93	0,99	4,58	0,09	1,01	0,51	1,01	0,00	1,03	0,98	1,11	3,99

Тавре аз ҷадвали 3 дида мешавад, қиматҳои калонтарини коэффитсиенти интенсивнокӣ ҳангоми гузариши аз хок ба таркиби реша ба Sr (1,08) ва Cr (1,00) тааллуқ доранд. Дар дигар металлҳои вазнин дар ҳудуди 0– 0,96– ро ишғол мекунад. Ин вобастагӣ ҳангоми гузариш аз реша ба поя нишон дода шудааст, ки он барои элементҳои V (1,13), Co (1,47), Cu (1,01), Zn (1,42) ва TiO₂ (1,00) ба қиматҳои аз як (1) калон соҳиб буда, барои элементҳои дигар аз як хурд мебошанд. Интенсивияти гузариши металлҳои вазнин аз поя ба барг дар муқоиса ба ҳолатҳои дар боло зикршуда тафовути зиёд доранд. Масалан ин коэффитсиент барои Ni (4,58), Pb (3,99) –ро ташкил медиҳад. Барои Cu (1,01), MnO (1,01), TiO₂ (1,03) ва Fe₂O₃ (1,11) қиматҳои аз як калон дошта, барои дигар элементҳои боқимонда аз як хурд мебошанд.

Аз натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашуда муайян гардид, ки дар раванди гузариш меъёри металлҳои вазнин дар таркиби растании “Гули хайрӣ” ба меъёрҳои муқаррагардида наздикӣ мекунад, яъне миқдори аксарияти металлҳои вазнин дар таркиби ин растани аз меъёри муқаррарӣ камтар аст. Рафти таҳқиқот нишон дод, ки концентратсияи **Pb** нисбат ба концентратсияи ҳудуди иҷозатӣ (КХИ) камтар ва нисбат ба меъёри кларк қиматҳои нисбатан зиёд дорад, ин ҳам дар ҳолат, ки дар таркиби хоки ҷойи сабзиши растани мавҷудияти ин элемент ошкор нагардид. Мавҷуд набудани сурб дар хоки минтақаи сабзиши растани шифобахш далели он аст, ки сурб дар узвҳои он аз атмосфераи муҳити атроф ворид гардидааст. Миқдори Cu, Zn, Sr дар хок ва тамоми қисмҳои растани аз меъёри муқарраршудаи кларк зиёд аст. Элементи кобалт, дар пояи растани “Гули хайрӣ” миқдори аз меъёри кларки он дар хок зиёдро нишон дод. Миқдори Fe₂O₃ бошад, дар таркиби хоки ҷойи сабзиш аз меъёри кларк зиёд аст. Ҳамин тариқ, дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда мавҷудияти ҳиссаи металлҳои вазнин дар таркиби растани “Гули хайрӣ” муайян карда шуд. Аз натиҷаҳои таҳқиқот, ки дар шакли ҷадвал нишон дода шудаанд, мутахассисони соҳаи дорусозӣ метавонанд ба

таври васеъ истифода баранд. Мутобиқати миқдори металлҳои вазнини таркиби ин растанӣ ба меъёрҳои муқарраргардида шаҳодат медиҳанд, ки растанӣ “Гули хайрӣ” қобили истифода дар соҳаи дорусозӣ мебошад.

АДАБИЁТ

1. Sebic, A.S. Heavy Metals Content in Selected Medicinal Plants Commonly Used as Components for Herbal Formulations / A. S. Sebic, R. Pivic, D. Josica, Z. Dinic, A. Stanojkovic // *Tarim bilimleri dergisi – journal of agricultural sciences.* – 2015. – Vol. 21. – Pp. 317– 325.

2. Давлатмамадова, С.Ш. Исследование влияния низкоинтенсивного лазерного излучения и магнитного поля на спектральные характеристики листья одуванчика / С.Ш. Давлатмамадова, Т. Шукуров, Р. Марупов, С.Ф. Абдуллаев // *Вестник ТНУ. Серия естественных наук.* – 2016. – №1/1(192). – С.142–146.

3. Шукуров, Т. Исследования влияния места произрастания на спектральные свойства лекарственного растения пастушья сумка обыкновенная методом ИК– спектроскопии / Т. Шукуров, С.Ш. Давлатмамадова, Р. Марупов, С.Ф. Абдуллаев // *Вестник ТНУ. Серия естественных наук.* – 2017. – № 1– 2. – С.125– 132.

4. Шарофова, М.У. К вопросу о содержании переходных элементов в структурах растений / М.У. Шарофова, Ш.С. Сагдиева, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Ф. Рахимию, М. Миршахи // *ДАН РТ.* – 2018. – Т.61. – №4. – С.350– 359.

5. Боймуродов, Д. С. Фитохимические особенности видов девясила (*Inula macrophylla*, *Inula rhizocephal*), произрастающих в условиях южного склона Гиссарского хребта / Д. С. Боймуродов, С. Ф. Абдуллаев // *ДАН РТ.* – 2019. – Т.62. - №5-6. – С.350-355.

6. Sharofova, M. First main series of transition elements with atomic numbers from 22 to 29, found in air pollution and detected in the plants from Tajikistan areas / M. Sharofova, S. Abdullaev, V. Maslov, Sh. Sagdieva, E.V. Shikh, M. Mirshahi // *Environ Monit. Assess.*, 2021. - V. 193. -No.127 <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08909-2>

7. Валиев, Н. Р. Таҳқиқоти металлҳои вазнин дар таркиби гиёҳи шиғобаҳши чокла (*Inula helinum L.*) / Н. Р. Валиев // *Кишоварз.* – 2022. - №4(97). – С.40-45.

8. Шомаҳмадов, М.Ҷ. Муайян намудани миқдори металлҳои вазнин дар таркиби гиёҳи шиғобаҳши ширинбия / М.Ҷ. Шомаҳмадов, Х.И. Қодирова, С.Ф. Абдуллаев // *Паёми политехники*, 2021. – №4(56). – С. 41- 45.

9. Ильин, Б.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / Б.Б. Ильин // *Новосибирск: Наука. Сиб. Отделение*, 1991. – 151 с.

10. Титов, А.Ф. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н. М. Казнина // *Петрозаводск: Карельский научный центр РАН*, 2011. – 77 с.

11. Титов, А. Ф. Тяжелые металлы и растения / А. Ф. Титов, Н. М. Казнина, В. В. Таланова // *Петрозаводск: Карельский научный центр РАН*, 2014. – 194 с.

12. Barsova, N. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta, G. Motuzova // *Environmental pollution.* — 2019. - V. 249. – Pp. 200-207.

13. Снежко, С.И. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу / С.И. Снежко, О.Г. Шевченко // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета.* – 2011. – №. 18. – С. 35-7.

14. Ходжиматов, М. Дикорастущие лекарственные растения Таджикистан / М. Ходжиматов // *Главная научная редакция Таджикской Советской Энциклопедии.* – Душанбе, 1989. – 364 с.

15. Michael, T. Textbook of Natural Medicine / T. Michael, N.D. Murray // 2020. — P.641—647.

16. ГОСТ Р 58588– 2019. Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа. – 2020. – 12 с.

17. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом РФА. СПб: ООО НПО «Спектрон», 2004. – 20 с.

18. Кабата– Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата– Пендиас, Х. Пендиас // М.: Мир, 1989. - 439 с.

19. Григорьев, А. В. Рентгенофлуоресцентный анализ растительных материалов, способы добавок и внешнего стандарта / А.В. Григорьев // *Известия РГПУ им. А. И. Герцена.* – 2012. – №. 144. – С. 82-91.

20. Марупов, Р.М. Содержание тяжелых металлов в пробах некоторых лекарственных растений Таджикистана / Р.М. Марупов, С.Ф. Абдуллаев, К.Х. Хайдаров, Г.М. Бобизода, Т. Шукуров, Дж. Н. Джалилов // *ДАН РТ.* – 2018. – Т.61. – №6. – С. 350– 359.

21. Зоҳидов, Х. Канзи шиғо / Х. Зоҳидов // – Душанбе: Ирфон, 2013. – 857 с.

REFERENCE

1. Sebic, A.S. Heavy Metals Content in Selected Medicinal Plants Commonly Used as Components for Herbal Formulations / A. S. Sebic, R. Pivic, D. Josica, Z. Dinic, A. Stanojkovic // *Tarim bilimleri dergisi — journal of agricultural sciences.* – 2015. – Vol. 21. – Pp. 317– 325.
2. Davlatmamadova, S.Sh. Study of the influence of low– intensity laser radiation and magnetic field on the spectral characteristics of dandelion leaves /S.Sh.Davlatmamadova, T. Shukurov, R. Marupov, S.F.Abdullaev . – Pp.142– 146.
3. Shukurov, T. Investigation of the influence of the place of growth on the spectral properties of the medicinal plant shepherd's purse by IR spectroscopy / T. Shukurov, S.Sh. Davlatmamadova, R. Marupov, S.F. Abdullaev // *Bulletin of TNU. Natural Sciences Series.* – 2017. – No. 1-2. – Pp. 125–132.
4. Sharofova, M.U. On the issue of the content of transitional elements in plant structures / M.U. Sharofova, Sh.S. Sagdieva, S.F. Abdullaev, V.A. Maslov, F. Rakhimia, M. Mirshakhi // *DAN RT.* –2018. - Vol. 61. - No. 4. – Pp. 350-359.
5. Boymurodov, D. S., Abdullaev S. F. Phytochemical features of elecampane species (*Inula macrorrhiza*, *Inula rhizocephala*) growing in the conditions of the southern slope of the Gissar Range / D. S. Boymurodov, S. F. Abdullaev // *DAN RT.* -2019. – Vol. 62. – No. 5– 6. – Pp. 350-355.
6. Sharofova, M. First main series of transition elements with atomic numbers from 22 to 29, found in air pollution and detected in the plants from Tajikistan areas / M. Sharofova, S. Abdullaev, V. Maslov, Sh. Sagdieva, E.V. Shikh, M. Mirshahi // *Environ Monit Assess* 193. 127 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08909-2>
7. Valiev, N. R. Research of heavy metals in the composition of the medicinal herb *Inula helinum* L. / N. R. Valiev // *Kishovarz.* – 2022. – No. 4(97). – Pp. 40- 45.
8. Shomahmadov, M.J. Determining the amount of heavy metals in the medicinal herb licorice / M.J. Shomahmadov, H.I. Kadirova, S.F. Abdullaev // *Polytechnic message.* – 2021. – №4(56). – Pp. 41– 45.
9. Ilyin, B.B. Heavy metals in the soil– plant system / B.B. Ilyin. \ Novosibirsk: Science. Sib. department, 1991. – 151 p.
10. Titov, A.F. Physiological bases of plant resistance to heavy metals / A.F. Titov, V.V. Talanova, N. M. Kaznina // *Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,* 2011. – 77 p.
11. Titov, A. F. Heavy metals and plants / A. F. Titov, N. M. Kaznina, V. V. Talanina // *Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,* — 2014. —194 p.
12. Barsova, N. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – A review / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta, G. Motuzova // *Environmental pollution.* — 2019. – Vol. 249. – Pp. 200-207.
13. Snezhko, S.I. Sources of entry of heavy metals into the atmosphere / S.I. Snezhko, O.G. Shevchenko // *Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* – 2011. - No. 18. – Pp. 35-37.
14. Khodjimotov, M. Wild medicinal plants Tajikistan / M. Khodjimotov // *Main scientific edition of the Tajik Soviet Encyclopedia.* – Dushanbe, 1989. – 364p.
15. Michael, T. Textbook of Natural Medicine / T. Michael, N.D. Murray // 2020. – Pp.641-647.
16. GOST R 58588– 2019 Selection and preparation of plant samples for isotopic analysis. – 2020. – 12 p.
17. Methodology for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powdered soil samples by XRF. — 2004, — M 049—P / 04. St. Petersburg: OOO NPO Spektron, — 20 p.
18. Kabata– Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata– Pendias, H. Pendias, \ – M.: Mir, 1989. – 439 p.
19. Grigoriev, A. V. X– ray fluorescence analysis of plant materials, methods of additives and external standard / A. V. Grigoriev // *Izvestiya RGPU im. A. I. Herzen.* – 2012. – No. 144. – Pp. 82-91.
20. Marupov, R.M. The content of heavy metals in samples of some medicinal plants of Tajikistan / R.M. Marupov, S.F. Abdullaev, K.Kh. Khaidarov, G.M. Bobizoda, T. Shukurov, J. N. Jalilov // *DAN RT.* – 2018. – V.61. – No. 6. – Pp.350– 359.
21. Zahidov, Kh. Kanzi shifa / Kh. Zahidov // – Dushanbe: Irfan, 2013. – 857 p.

ТАҲҚИҚОТИ МЕТАЛҲОИ ВАЗНИН ДАР ТАРКИБИ ГИЁҲИ ИФОБАХШИ ГУЛИ ХАЙРӢ (*ALTHAEA OFFICINALIS*)

Омӯзиши таркиби химиявии растаниҳо чихати татбиқ ва истифодабарии онҳо дар соҳаи тиб аҳаммияти калони илмӣ ва амалӣ дорад, зеро маҳз дар сурати мукамал таҳқиқ намудани таркиби химиявии растаниҳо дараҷаи шифобахшии онҳо муайян карда мешавад. Аз ин рӯ, таҳқиқи таркиби растаниҳо, бахусус растаниҳои шифобахш дар рушди соҳаи дорусозӣ такони қиддӣ мебахшад. Растани “Гули хайрӣ” дар тибби мардумӣ ҳамчун гиёҳи шифобахш маълум буда, дар аксари минтақаҳои Тоҷикистон мерӯяд. Ҳадафи таҳқиқоти мазкур муайян намудани микдори металҳои вазнини таркиби растани шифобахши “гули хайрӣ” ба ҳисоб меравад. Дар ин

тахқиқот бо усули рентгенофлуоресценсӣ миқдори металлҳои вазнини таркиби растани “Гули хайрӣ” муайян карда шуд. Растани “Гули хайрӣ” аз қисмати чанубии Тоҷикистон чамбоварӣ ва таҳқиқ гардид. Дар баробари қисматҳои растани (реша, поя ва барг), ҳамчунин, таркиби хоки ҷойи сабзиши растани мавриди таҳқиқ қарор гирифт. Аз натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашуда муайян гардид, ки дар раванди гузариш меъёри металлҳои вазнин дар таркиби растани “Гули хайрӣ” ба меъёрҳои муқаррагардида наздикӣ мекунад, яъне миқдори аксарияти металлҳои вазнин дар таркиби ин растани аз меъёри муқаррарӣ камтар аст.

Калидвожаҳо: металлҳои вазнин, гули хайрӣ, хок, усули рентгенофлуоресценсӣ, спектрометри СПЕКТРОСКАН– МАКС– G, коэффициентҳои чамъшавӣ, коэффициентҳои шиддатнокии гузариш.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТЕНИИ АЛТЕЙ ЛЕКАРСТВЕННЫЙ (ALTHAEA OFFICINALIS)

Исследование химического состава растений имеет большое научное и практическое значение для определения областей их применения и использования. Потому что только в случае полного изучения химического состава растения можно определить степень их оздоровления. В связи с этим изучение состава растений, особенно лекарственных растений, дает серьезный толчок развитию области фармацевтики. Растение «Алтей лекарственный» известно, как лекарственное растение в народной медицине и произрастает в большинстве регионов Таджикистана. Целью данного исследования является определение количества тяжелых металлов в лекарственном растении «Алтей лекарственный». В данном исследовании количество тяжелых металлов в составе растения «Алтей лекарственный» определяли рентген флуоресцентным методом. Растение «Алтей лекарственный» было собрано и изучено в южной части Таджикистана. Наряду с частями растения (корнем, стеблем и листом) изучался состав почвы, в которой произрастало растение. По результатам проведенных исследований установлено, что в процессе перехода норма тяжелых металлов в составе растения «Алтей лекарственный» приближается к установленным нормативам, то есть количество большинства тяжелых металлов в состав этого растения ниже стандарта.

Ключевые слова: тяжелые металлы, органы цветка, почва, рентген флуоресцентный метод, спектрометр SPECTROSCAN– MAX– G, коэффициент накопления, коэффициент интенсивности перехода.

DETERMINATION OF THE QUANTITY OF HEAVY METALS IN MEDICINAL PLANT MARSHMALS (ALTHAEA OFFICINALIS)

The study of the chemical composition of plants is of great scientific and practical importance for determining the areas of their application and use. Because only in the case of a complete study of the chemical composition of the plant, it is possible to determine the degree of their recovery. In this regard, the study of the composition of plants, especially medicinal plants, gives a serious impetus to the development of the field of pharmaceuticals. The plant "Althaea officinalis" is known as a medicinal plant in folk medicine and grows in most regions of Tajikistan. The purpose of this study is to determine the amount of heavy metals in the medicinal plant "Althaea officinalis". In this study, the amount of heavy metals in the composition of the plant "Althaea officinalis" was determined by the X– ray fluorescence method. The plant "Althaea officinalis" was collected and studied in the southern part of Tajikistan. Along with the parts of the plant (root, stem and leaf), the composition of the soil in which the plant grew was studied. According to the results of the studies, it was found that in the process of transition, the norm of heavy metals in the composition of the plant "Althaea officinalis" approaches the established standards, that is, the amount of heaviest metals in the composition of this plant is below the standard.

Keywords: heavy metals, flower organs, soil, X– ray fluorescence method, SPECTROSCAN– MAX– G spectrometer, concentration coefficient, transition intensity coefficient.

Маълумот дар бораи муаллифон: Валиев Носир Раҳмоналиевич – Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абуабдуллоҳи Рӯдакӣ, унвонҷӯ. **Суроға:** 735360, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, шаҳри Кӯлоб, кӯчаи С. Сафаров, 16. **Телефон:** (+992) 918336110. **E– mail:** valiev– ns@mail.ru

Абдуллаев Сабур Фузайлович – Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, мудири лабораторияи физикаи атмосфераи ИФТ ба номи С.У. Умаров, профессор. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон хиёбони Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 918177390. **E–mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com

Сведения об авторах: Валиев Насир Раҳмоналиевич–Кулябский государственный университет имени Абуабдуллы Рудаки, соискатель. **Адрес:** 735360, город Куляб Республики Таджикистан, улица С.Сафарова, 16. **Телефон:** (+992) 918336110. **E-mail:** valiev– ns@mail.ru

Абдуллаев Сабур Фузайлович – Национальная академия наук Таджикистана, заведующий лабораторией физики атмосферы имени С.У. Умарова. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект. Айни, 299/1. **Телефон:** (+992)918177390. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com

Information about the authors: Valiev Nasir Rahmonalievich – Kulyab State University named after Abuabdullo Rudaki Applicant. **Address:** 735360, Kulyab, Republic of Tajikistan, S. Safarov street, 16. **Phone:** (+992) 918336110. **E-mail:** valiev– ns@mail.ru

Abdullaev Sabur Fuzaylovich – National academy of Science of Tajikistan, Prof., Head of the Atmospheric Physics Laboratory of S.U.Umarov Physical Technical Institute. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Aini Avenue, 299/1. **Phone:** (+992) 918177390. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com

ТДУ:523.68

ТАҲҚИҚИ СИНХРОНАҲОИ ДУМИ ЧАНГИНИ КОМЕТАИ
C/2020 F3 NEOWISE

Бобоев Ш.С.

Донишгоҳи милии Тоҷикистон

Муқаддима. Кометаҳо чирмҳои ғайристатсионари Низоми офтобӣ ба шумор рафта, объектҳои ҷолиб ва зебо мебошанд. Пайдоиши кометаҳо аз давраҳои қадим Инсониятро ба худ ҷалб намудааст. Замоне буд, ки пайдоиши кометаҳо дар осмони ситоразор ҳамчун хатар ва ё огоҳикунандаи он қабул мекарданд. Аз ин рӯ, вобаста ба рушди илм ва тафаккури инсон, дар давраҳои гуногуни таърих, халқиятҳо ба кометаҳо номҳои хос додаанд. Маънои калимаи комета дар забони латинӣ – муйнок ва ё муйи дарози парешоншуда мебошад. Дар давлатҳои Осиё ин навъи объектҳо комета ва ё ситораҳои қумдор мегуфтанд. Дар нимҷазираҳои Арабистон, кометаро зузанаб ном мебаранд. Аксар олимони Шарқ низ ин номро ба таври васеъ истифода кардаанд [1].

Кашфи комета. Кометай C/2020 F3 (NEOWISE) 27 март соли 2020 аз ҷониби телескопи инфрасурхи кайҳонӣ, (WISE) кашф карда шудааст [2]. Кометай NEOWISE нисбат ба Офтоб, аз санаи 11 июни соли 2020 то 9 июли соли 2020, дар таҳти кунҷи камтар аз 20° ҷойгир буд. То 10 июни соли 2020, вақте ки комета дар зери афканиши Офтоб нопадид шуд, бузургии зоҳириаш ба $+7^m$ расид. 3 июли соли 2020, ҳангоми гузариши комета аз нуқтаи перигелий мадор нисбат ба Офтоб дар масофаи 0,29 в.а. қарор дошт. Вақте, ки комета 22 июни соли 2020 ба майдони назари телескопи кайҳонии SOHO LASCO C3 ворид шуд, дурахшониаш ба 3^m -ум қадри ситорагӣ мувофиқ омад. Аз моҳи июли соли гузашта, кометай C/2020 F3 NEOWISE ба андозаи $+1^m$ қадри ситорагӣ мушоҳида шуд, ки нисбат ба дурахшони кометай рахшони дигар C/2020 F8 (SWAN) хеле зиёд буд. Мушоҳидаҳо нишон доданд, ки комета дорои думи чангин аст. 5 июли соли 2020, асбоби WISPR-и Паркер ҷузъи дувумро дар думи ионӣ, ки аз иони натрий иборат буд. 23 июли соли 2020, комета ба Замин ба масофаи 103,5 миллион км (0,69 в.а.) наздик шуд. Дафъаи дигар C/2020 F3 (NEOWISE) пас аз 6800 сол ба Офтоб бармегардад – масофаи афелии он дар масофаи 500-700 в.а. нисбат ба Офтоб ҷойгир аст [3].

Ҷадвали 1. Тавсифи параметрҳои мадори кометай C/2020 F3 NEOWISE [2]

Таблица 1. Характеристика параметров орбит кометы C/2020 F3 NEOWISE [2]

Table 1. Description of the orbital parameters of comet C/2020 F3 NEOWISE [2]

Давр	2458953,5 (14 апрели соли 2020)
Навъи мадор	Кометай дароздавр
Масофаи афелий	538 в.а.
Масофаи перигелий	0,29478 в.а.
Нимтири калони мадор	270 в.а.
Эксентриситети мадор	0,99921
Даври гардиш дар атрофи Офтоб	~ 4400 сол
Моилии мадор нисбат ба ҳамвории эклиптика	128.93°
Тӯли гиреҳи фароз	61.01°
Аргументи перигелий	$37,28^\circ$
Масофаи наздиктарин бо Замин	0,36 в.а. (54 млн км)
Масофаи наздиктарин бо Муштарӣ	0,81 в.а. (121 млн км)
Андозаи комета	~ 5 км

Мушоҳидаи комета. Кометаро ҳангоми наздикшавӣ, ба Замин моҳи июли соли 2020, Сафаров А.Ғ. дар якҷояги бо кормандони Шуъбаи физикаи кометаҳо ва астероидҳои Институти астрофизикаи АМИТ, аз 23 то 27 июл дар Расадхонаи астрономии Ҳисор, бо телескопи АЗТ-8, ки бо АНБ навъи FLI PROLINE мучаҳҳаз буд, аксбардорӣ, намуданд. Ҳангоми аксгирӣ, бо мақсади ошкор намудани синхронаҳо дар думи чангини комета фосилаи расмгирӣ, аз 60 сония то 180 сония дароз карда шуда, аксҳо бошад танҳо дар филтрҳои *R* ва *I* гирифта шуданд. Барои бо сифати баланд ба даст овардани аксҳои рақамӣ, камераи АНБ то ҳарорати – 20 °C хунук карда шудааст [4].

Усули таҳқиқот ва коркарди натиҷаҳо. Аксҳои рақамии комета бо барномаи астрономии *Cartes du Ciel* таҳрирезӣ карда шуда, мавқеи думи комета нисбат ба самти шимол ва дарозии он муайян карда шуд. Дар барнома равзанаи махсус ҷой дорад, ки координатаҳои кометаро ворид намуда, онро бо харитаи осмони ситоразор қиёс намудан мумкин аст [4].

Чадвали 2. Маълумотҳои мушоҳидавии кометай C/2020 F3 NEOWISE

Таблица 2. Наблюдательные данные кометы C/2020 F3 NEOWISE

Table 2. Observational data of comet C/2020 F3 NEOWISE

Вақти мушоҳида	Миқдори аксҳо дар филтрҳои R, I	г, в.а.	ρ, в.а.	R, в.а.	L, градус	L, градус
23.07.2020	23	0,630	0,692	1,00522	29,75	209,15
25.07.2020	73	0,646	0,744	1,00621	32,57	212,65
26.07.2020	122	0,663	0,770	1,00646	33,51	213,52
27.07.2020	33	0,680	0,796	1,00672	34,45	214,49

Дар чадвали 2 маълумоти мушоҳидавӣ оварда шудааст: дар сутуни 1-рӯзҳои мушоҳида, сутуни 2-юм миқдори аксҳои гирифташуда дар филтрҳои R ва I, масофаи офтобмарказӣ, масофаи заминмарказӣ, масофаи ҳақиқии Офтобу Замин дар рӯзҳои мушоҳидаи комета, тӯли Офтоб ва тӯли Замин оварда шудааст.

Дар барномаи *Cartes du Ciel* акси рақамии комета тавассути панели асосии барнома, менюи *Настройка→Изображение* ҳосил карда шуда, равзанаи хурд пайдо мегардад. Баъдан, аз дохили ин равзана зерменюи *Фон* – ро интихоб намуда, дар рости тугмаи *Fits файл* катаки холигие аст, ки аз он ҷо акси рақамиро ба барнома ворид менамояд. Шакли аксҳои рақам, бояд дар формати *Fits* бошад. Баъди дохил кардан дар равзанаи хурд акси комета пайдо мешавад. Баъдан, ба росткунҷаи *Показать это изображение* нуқта гузошта, сараввал *Применить* ва баъдан тугмачаи *OK*-ро пахш менамоем. Баъди ин амалро иҷро намудан дар равзанаи асосӣ акси воридгаштаи комета ҳосил мешавад [4-6].

Бо назардошти элементҳои мадори кометай C/2020 F3 NEOWISE (чадвали 1), маълумотҳои мушоҳидавӣ (чадвали 2) бо истифода аз усули Моисеев [7] шакли ҳақиқии думи чангини комета барои рӯзҳои мушоҳида ҳисоб карда шуд. Шитоби босамари чангҳо аз ҳастаи комета мувофиқан бо усули дар корҳои [4-6] истифодагардида муайян карда мешавад.

Бузургии шитоби қувваи ҷазбқунии Офтоб дар масофаи 1 *в.а.* ба $k^2 = 0.0002959$ баробар аст. Ҳамчун воҳиди масофа - 1 *в.а.* ва воҳиди вақт - шабонарӯзии миёнаи офтоб, гирифта шудааст. Дар системаи CGS дар масофаи 1 *в.а.* аз Офтоб, шитоби Офтоб ба $0,5934 \text{ см/с}^2$ баробар мебошад. Муттаносибан, дар

масофаи муайян аз Офтоб шитоби қувваи чозибба бо k^2/r^2 ифода карда мешавад. Ин шитобҳо (қувваҳои чозибба ва қувваҳои теладихии Офтоб) ба самтҳои муқобил равона карда шудаанд ва натиҷаи ин шитобҳо, шитоби босамар меноманд. Агар мо ҳаракати ҷанг дар системаи воҳидҳои астрономӣ, меомӯзем, пас шитоби муассири он μ дар масофаи r аз Офтоб $k^2\mu/r^2$ мешавад [8, 9].

Шитоби босамари зарраҳои ҷанги аз рӯи формулаи зерин муайян мекунам [10]:

$$\mu = \frac{\frac{2q}{r_1} - \cos v_1 - \cos(v_1 - \varphi)}{\cos(v_1 - \varphi) - 1},$$

Дар инҷо r_1 - радиус-вектори ҷанг буда дар муддати вақти мушоҳида, аз вобастаги зерин муайян карда мешавад:

$$r_1 = \frac{\eta}{\sin(v - v_1)}$$

Аномалияи ҳақиқиро ҳангоми партофт дар асоси формула зерин муайян мекунам:

$$\vartheta_1 = \vartheta - \frac{\arctg \frac{\eta}{\xi}}{\chi},$$

Дар инҷо, $\chi = 0.670 - 0.00025 \times \vartheta$ буда, ξ ва η - координатаҳои кометамарказии охири дум мебошанд.

Натиҷаҳои гирифташуда дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Дар ҷадвали 3. дар сутуни аввал миқдори синхронаҳо дар як шаби мушоҳида, мавқеи дум нисбати самти шимол P , дарозии дум S , аномалияи ҳақиқӣ дар рӯзи ихроҷи ҷанг v_1 , фарқияти аномалияи ҳақиқӣ φ аз рӯзи ихроҷ то рӯзи мушоҳида, координатаҳои кометамарказии синхрона ξ, η , масофаи ҷанг аз ҳаста r_1 , умри ҷанг τ ва шитоби босамари ҷангҳои думи комета μ , оварда шудааст.

Ҷадвали 3. Параметрҳои физикии синхронаҳои думи ҷангини кометани C/2020 F3 NEOWISE

Таблица 3. Физические параметры синхрон пылевого хвоста кометы C/2020 F3 NEOWISE

Table 3. Physical parameters synchronous bands of dust tail comet C/2020 F3 NEOWISE

№	P, град.	S, град.	v_1 , град.	φ , град.	ξ , а.е.	η , а.е.	r_1 , а.е.	τ , сут.	$1+\mu$
23 июли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 60 сония									
1	122	0,44	168,04	74,3	0,0057266	0,0067774	0,032	4,18	0,123
2	122	0,30	168,04	74,31	0,0038827	0,0045943	0,021	4,18	0,148
3	113	0,21	175,98	82,27	0,0024321	0,00348992	0,027	3,93	0,204
4	135	0,20	176,36	81,21	0,00093536	0,00262906	0,018	3,53	0,120
5	125	0,26	171,33	83,25	0,000543817	0,00396954	0,012	3,26	0,295
6	121	0,41	169,59	75,21	0,00433186	0,00671626	0,013	3,18	0,230
7	126	0,31	168,54	77,89	0,000730028	0,0046732	0,012	3,29	0,204
8	118	0,35	169,55	73,29	0,000007171	0,00510984	0,019	3,12	0,131
23 июли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 120 сония									
1	122	0,44	168,04	74,33	0,005726624	0,006777937	0,032	4,18	0,323
2	122	0,3	168,04	74,33	0,003881754	0,004594369	0,022	4,18	0,114
3	113	0,21	175,04	82,27	0,002432156	0,003489926	0,490	3,98	0,002
4	135	0,2	155,98	62,25	0,002868321	0,002556636	0,062	4,56	0,048

5	125	0,26	165,34	71,63	0,003464142	0,003846797	0,012	4,26	0,021
6	121	0,42	168,93	75,22	0,005377328	0,006500935	0,033	4,16	0,012
7	126	0,31	164,43	70,72	0,004167594	0,0045301222	0,016	4,29	0,023
8	118	0,35	171,59	77,88	0,003835518	0,004942062	0,033	4,09	0,007
25 юли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 60 сония									
1	127	0,51	163,51	69,81	0,006944275	0,007388149	0,026	4,31	0,190
2	124	0,61	166,24	72,54	0,008051509	0,009133369	0,038	4,23	0,018
3	123	0,57	167,14	73,44	0,007550505	-0,008633138	0,038	4,21	0,016
4	120	0,45	169,82	76,11	0,005698525	0,007036947	0,039	4,14	0,011
5	117	0,42	172,47	78,76	0,005133077	0,0067565086	0,051	4,07	0,006
6	115	0,38	174,13	80,52	0,004525329	0,006217821	0,061	4,03	0,004
7	114	0,35	175,10	81,40	0,004111439	0,005772598	0,067	4,00	0,002
8	112	0,31	176,85	83,15	0,003994803	0,005858698	0,106	3,96	0,001
25 юли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 120 сония									
1	124	0,54	175,82	80,78	0,007687753	0,010630585	0,145	4,04	0,2818
2	122	0,56	177,45	82,42	0,007785301	0,011211117	0,252	4,00	0,0008
3	116	0,52	182,21	87,17	0,006781344	0,011026388	0,285	3,90	0,0007
4	108	0,5	188,30	93,27	0,005839178	0,011213556	0,077	3,78	0,0131
5	107	0,45	189,05	94,02	0,005171357	0,010147626	0,064	3,77	0,0161
6	106	0,35	189,80	94,77	0,00395572	0,007933467	0,046	3,75	0,0195
7	104	0,31	191,30	96,27	0,003382799	0,007092574	0,036	3,72	0,0277
8	104,5	0,35	190,93	95,89	0,003413393	0,007076896	0,037	3,73	0,0255
26 юли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 60 сония									
1	125	0,71	174,99	79,95	0,010146662	0,01374783	0,157	4,06	0,973
2	124	0,68	175,82	80,78	0,009626651	0,013311683	0,182	4,04	0,002
3	121	0,65	178,26	83,22	0,006949684	0,013151179	0,434	3,98	0,001
4	119	0,54	179,86	84,82	0,0072844	0,011145652	4,572	3,95	0,719
5	117	0,5	181,43	86,39	0,00659726	0,01051137	0,420	3,92	0,001
6	114	0,48	183,45	87,81	0,006106856	0,010343655	0,157	3,87	0,002
7	112	0,45	185,28	90,24	0,005575097	0,009840679	0,106	3,84	0,004
8	108	0,43	188,30	93,22	0,005255273	0,010092224	0,069	3,78	0,013
26 юли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 120 сония									
1	120	0,49	183,63	87,25	0,006918861	0,011273071	0,177	3,93	0,365
2	112	0,53	182,56	93,18	0,006751905	0,012932741	0,077	3,82	0,001
3	115	0,53	187,38	90,99	0,007018267	0,012645114	0,098	3,86	0,009
4	107	0,71	193,13	96,72	0,008397286	0,017863187	0,078	3,75	0,039
5	103	0,46	195,94	99,56	0,005075812	0,011790678	0,042	3,71	0,067
6	102	0,41	196,64	100,26	0,004439412	0,01054973	0,036	3,69	0,076
7	101	0,39	197,34	100,96	0,004141046	0,01007077	0,033	3,68	0,086
8	102	0,41	196,64	100,26	0,004222859	0,010035117	0,035	3,69	0,076
27 юли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 60 сония									
1	128	0,51	181,79	84,12	0,00791062	0,01189097	0,380	4,03	0,144
2	123	0,52	185,70	88,03	0,00768260	0,01277823	0,128	3,95	0,05
3	115	0,57	191,50	93,84	0,00774437	0,01511665	0,075	3,85	0,027
4	110	0,53	194,94	97,27	0,00673814	0,01456548	0,056	3,79	0,054
27 юли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 60 сония									
5	109	0,42	195,61	97,94	0,005621548	0,01161307	0,043	3,78	0,061
6	98	0,41	202,88	105,22	0,00420264	0,01186828	0,030	3,66	0,205

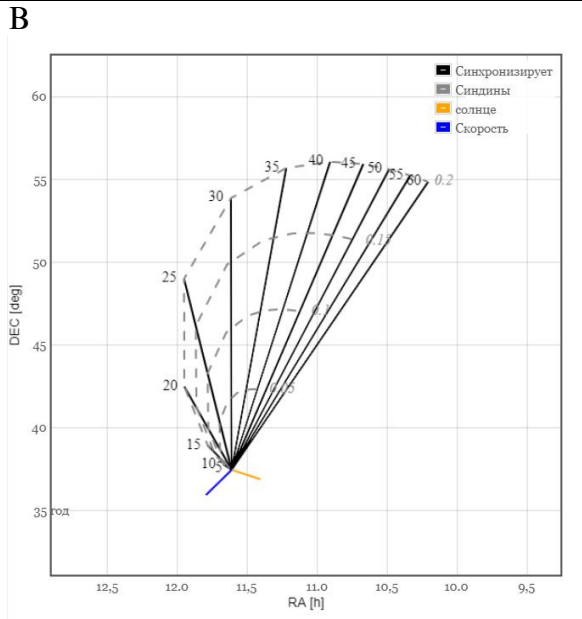
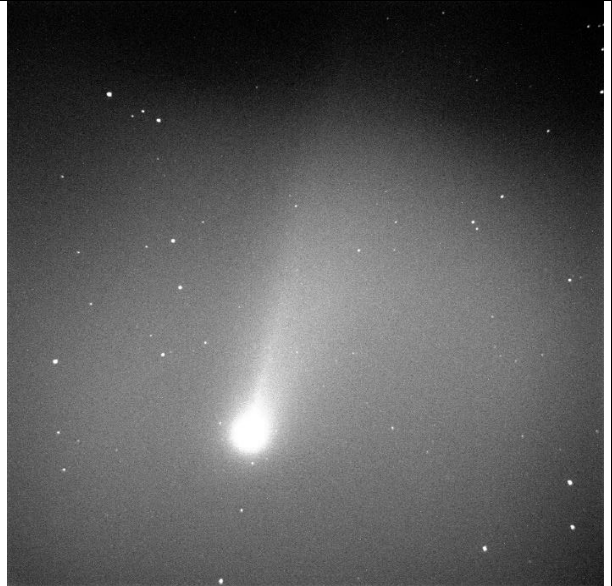
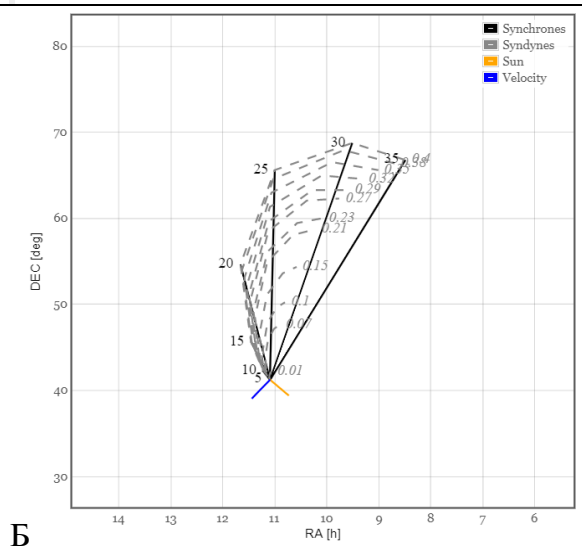
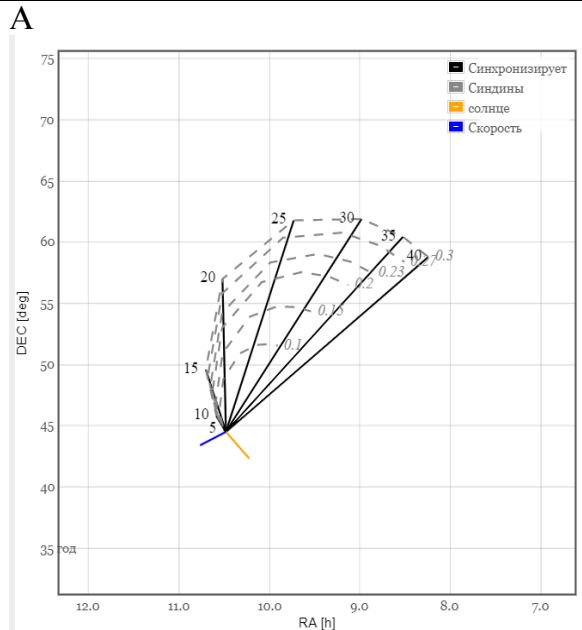
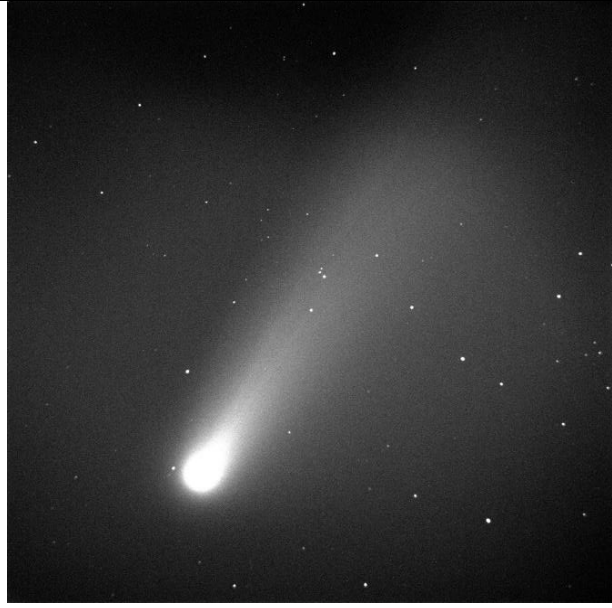
7	95	0,38	204,68	107,19	0,00363359	0,01106646	0,026	3,63	0,280
8	88	0,31	209,52	118,86	0,00298862	0,01110687	0,022	3,56	0,594
27 июли соли 2020, филтри R, фосилаи расмгирӣ 120 сония									
1	121	0,52	187,19	89,73	0,00760853	0,0131715	0,105	3,92	0,630
2	118	0,46	189,38	91,71	0,00646906	0,01189016	0,072	3,88	0,016
3	115	0,55	191,50	93,84	0,00747265	0,01458625	0,073	3,85	0,027
4	110	0,51	194,94	97,27	0,00648387	0,01401585	0,054	3,79	0,054
5	105	0,54	198,28	100,61	0,00634336	0,01524912	0,048	3,73	0,097
6	99	0,38	202,23	104,56	0,00398004	0,01097117	0,028	3,67	0,185
7	97	0,35	203,54	105,88	0,00350836	0,01015492	0,025	3,65	0,228
8	94	0,34	205,50	107,87	0,00326441	0,01020718	0,023	3,62	0,311

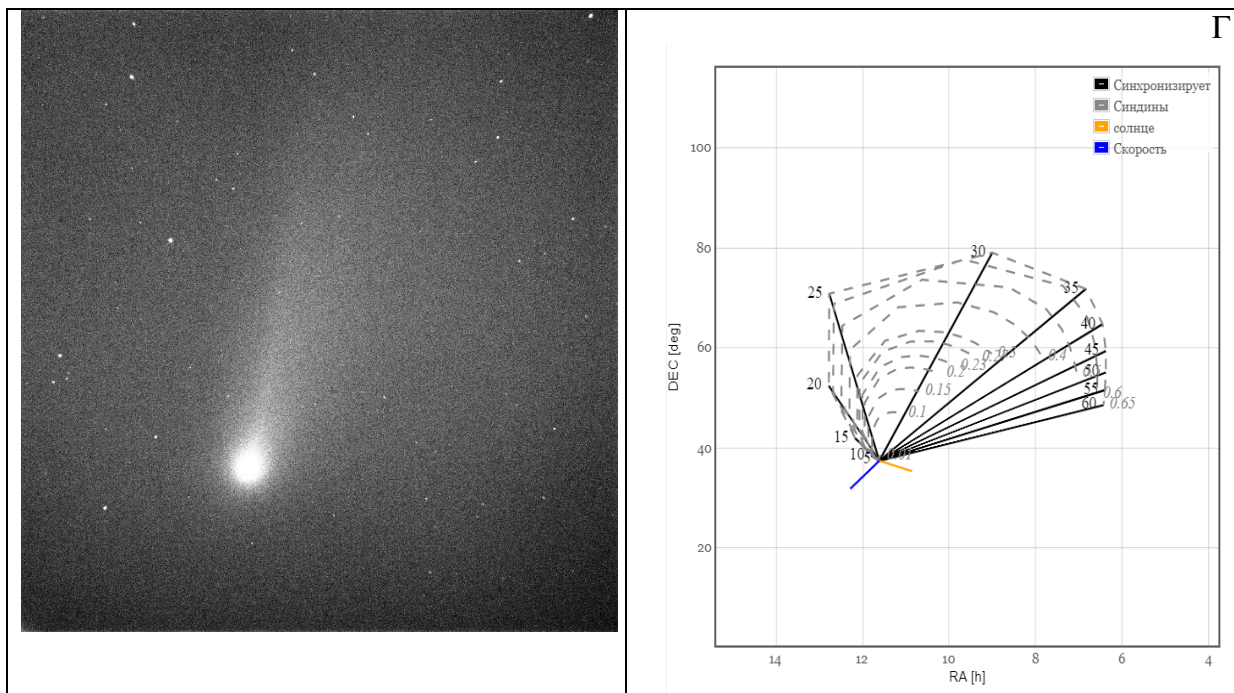
Муҳокимаи натиҷаҳо ва хулосагирӣ. Азбаски кометай C/2020 F3 аз нигоҳи динамикӣ, нав аст, пас, миқдори моддаҳои зудбухоршавандаи хеле зиёд дорад. Пайдо шудани синхронаҳо, фаъолияти ҳастаи кометаро нишон медиҳанд. Маълум аст, ки қиммати шитоби босамар аз 0,01 то 0,6 баробар буда, чангҳо бошанд аз ҳастаи комета дар вақти аз 3,7 то 4,3 шаборӯз ихроҷ шуданд. Тадқиқотҳои дар [4-6] гузаронидашуда нисбати кометай дароздаври C/1961 C 1, C/1995 O1 ва кометай кӯтоҳаври 21P/Ҷакобинӣ-Зиннер гувоҳи он аст, ки умри зарраҳои чангини синхронаҳои кӯтоҳ дар думи кометай C/1961 C 1 дар ҳудуди аз 5,4 то 7,5 шаборӯз ва қиммати шитоби босамари чангҳо бошад дар ҳудуди 0,27 то 0,66 мехобанд. Дида мешавад, ки зарраҳои чангини синхронаҳои думи кометай C/1961 C 1 дар муддати аз 7,5 то 5,4 шаборӯз то гузаштани комета аз нуқтаи перигелии мадор рух додааст. Сабаби асосӣ он аст, ки кометай C/1962 C1 динамикӣ нав буда, дорой моддаҳои зудбухоршаванда мебошад. Ҳангоми гармшавӣ дар сатҳи ҳастаи комета, ҳодисаи сублиматсия беист ба амал омада аз ҳисоби мавҷуд будани зарраҳои мушкилгӯдоз, зарраҳои чангини андозаҳои калон (метеороидӣ) ихроҷ шуда, дар оянда думи аномалиро ташаққул додаанд [11-13]. Мувофиқи таҳқиқотҳои суръати ихроҷи чангҳои думи аномалӣ [11-13], суръати ихроҷи чангҳо барои кометай C/1961 C1 дар ҳудуди аз 0,21 км/с то 0,88 км/с мехобад. Дар кометай C/1995 O1 қиммати шитоби босамари зарраҳои чангин барои рӯзҳои 5, 7 ва 9 марти соли 1997, дар ҳудуди 0,09 км/с то 0,31 км/с мехобанд. Ошкор карда шуд, ки зарраҳои чангин дар вақтҳои муайян то лаҳзаи гузариши комета аз нуқтаи перигелии мадор партофта шудааст. Ихроҷи аввал аз 42 то 32 шаборӯз, ихроҷи дуюм бошад аз 16 то 6 шаборӯз пеш аз гузариши комета аз нуқтаи перигелии мадор рух додааст. Ин ҳолат аз ҳисоби фаъолнокӣ ва порашавии ҳастаи комета ба амал омадааст [14].

Расми 1. Тасвир ва диаграммаи Финсон – Пробштейни кометай C/2020 F3 NEOWISE: А-23.04.2020; Б-25.04.2020; В-26.04.2020 ва Г-27.04.2020

Рисунок 1. Фотография и диаграмма Финсона – Пробштейна кометы C/2020 F3 NEOWISE: А-23.04.2020; Б-25.04.2020; В-26.04.2020 и Г-27.04.2020

Picture 1. Photography and Finson – Probsteyn diagram of comet C/2020 F3 NEOWISE: А-23.04.2020; Б-25.04.2020; В-26.04.2020 and Г-27.04.2020



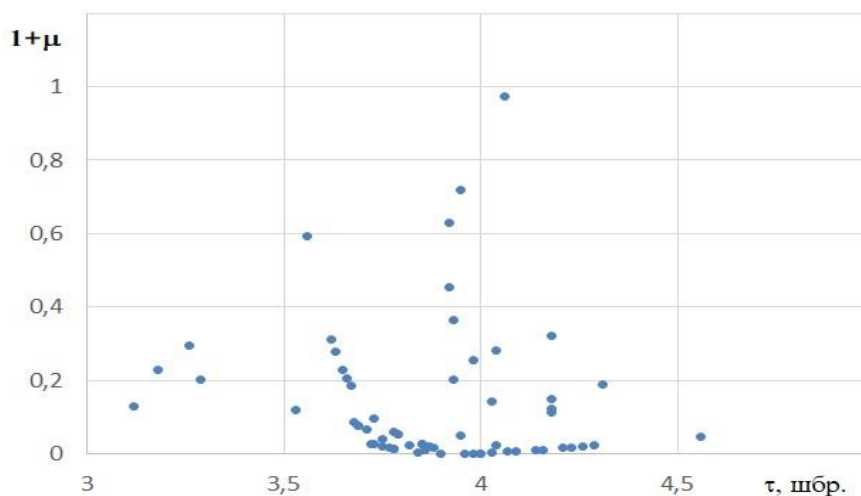


Тадқиқотҳои Манзинӣ бо ҳамкоронашон (Manzini et al. [15]) нишон дод, ки дар наздикии масофаи перигелӣ суръати чанҳо ҳаракати спиралӣ дошта ба $1,11 \pm 0,008$ км/с баробар аст. Ҳаракати чанг аз ҳисоби гардиши комета дар атрофи меҳвараш ($7,8 \pm 0,2$ соат) ба амал омад. Чанҳо аз ду қисмати ҳастаи комета ихроҷ мешуданд. Хангоми омӯзиши морфологӣ муқаррар карданд, ки андозаи чангҳо дар ҳудуди 0,80-800 мкм ҳобида, зичии онҳо бошад ба $0,003$ г/см³ то 3 г/см³ баробар будааст. Мувофиқи тадқиқотҳои [16] сохторҳои думи чангини комета ба кометҳои раҳшони C/2006 P1 наздик аст. Муаллифон дар чунин ақидаанд, ки тасмаи дар синхрона ҷойгирифта дар вақтҳои гуногун аз ҳастаи комета хориҷ шудааст.

Расми 2. Вобастагии шитоби босамари чангҳои думи чангини комета аз вақти ихроҷи кометҳои C/2020 F3 NEOWISE

Рисунок 2. Зависимость эффективного ускорение пылевых частиц пылевого хвоста кометы C/2020 F3 NEOWISE

Picture 3. Dependence of the effective acceleration of dust particles in the dust tail of comet C/2020 F3 NEOWISE



Натиҷаҳои [5] доир ба кометаи C/2006 P1 гирифташуда нишон медиҳад, ки сабаби асосии пайдоши синхрона дар думи чангин, ин ҳодисаи сублиматсия ва энергияи маддии Офтоб мебошад. Шитоби зарраҳои чангин ба 0,7-0,82 баробар буда, тақрибан 4,28 - 7,6 январи соли 2007 аз ҳастаи комета ихроҷ шудаанд. Ин чангҳо пеш аз нуқтаи перигеллии мадорро гузаштан партофта шуда, аз 18 то 22 январ мушоҳида шудаанд.

Дар расми 9 вобастагии шитоби босамари чангҳо аз вақти ихроҷ оварда шудааст. Таҳлил нишон медиҳад, ки ихроҷи чанг дар натиҷаи фаввораи пуршиддат аз ҳастаи комета рӯх додааст. Мувофиқи мушоҳида ва таҳлили спектроскопии комета [17], ки 29 июл гирифта шудааст, моддаҳои ихроҷшуда асосан аз C₂, NH₂, оксиген ва натрий иборат мебошад. Суръати ихроҷи моддаҳо аз ҳастаи комета ба 1,2 км/с рост меояд. Чангҳои ки думи кометаро ташкил додаанд, асосан аз натрий таркиб ёфтаанд. То имрӯз дар спектри гирифташудаи думи чангини кометаҳои C/2006 P1, кометаи C/2011 L4 ва кометаи дароздаври C/2012 S1 дар спектрҳои натрий ба қайд гирифта шудааст [18-20].

Хулоса. Дар асоси аксҳои гирифташудаи кометаи C/2020 F3 аз Расадхонаи астрономии Ҳисори Институти астрофизикаи АМИТ, коркарди аксҳои рақамӣ бо барномаи Кардуселл ба роҳ монда шуда, барои муайян кардани координатаҳои кометамарказӣ усули Моисеев истифода шудааст. Шитоби босамари чангҳои думи комета, муайян карда шуд ва қиммати гирифташуда дар ҳудуди аз 0,01 то 0,6 мехобад, ки ба гуногунандоза будани онҳо шаҳодат медиҳад.

Чангҳо аз ҳастаи комета қабл аз мушоҳида дар натиҷаи фаввораи пуршиддат тӯли 3,7 то 4,3 шаборӯз ҳангоми аз нуқтаи перигели гузаштани комета партофта шудаанд. Муқаррар карда шуд, ки чангҳои синхронаҳои думи чангин, 1-уми июли соли 2020 партофта шудааст.

Бо диаграммаи Финсон-Пробштейн шакли ҳақиқии синхрона ва синдинамаи думи чангини кометаи C/2020 F3 барои рӯзҳои 23, 25, 26 ва 27 июли соли 2020 сохта шуд. Маълум гашт, ки сохтори дум дар давоми мушоҳида хело зиёд тағйир ёфтааст.

АДАБИЁТ

1. Раҳмонов, А.А. Цирмҳои Системаи Офтобӣ / А.А. Раҳмонов. – Душанбе. Матбаа. 2012. – 268 с.
2. COMET C/2020 F3 (NEOWISE) // Minor Planet Electronic Circulars. – 2020. No 2020-G05. – April 1.
3. Falk, D. One of the brightest comets in decades is passing Earth. Here's how to see it // National Geographic. – 2020. – July 29.
4. Сафаров, А. Г. Определение эффективного ускорения пылевых частиц пылевого хвоста короткопериодической кометы 21P/Джакобини-Циннер / А. Г. Сафаров, Ш. С. Бобоев, М. Х. Зухуров // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 3. – С. 122-127..
5. Определение эффективного ускорения пылевых частиц синхроны хвоста кометы C/2006 P1 / А. Г. Сафаров, Х. И. Ибадинов, Ш. С. Бобоев, Д. К. Аюбов // Известия главной астрономической обсерватории в Пулковке: труды Всероссийской астрометрической конференции, Санкт-Петербург, 01–05 октября 2018 года. – Санкт-Петербург, 2018. – Т. 225. – С. 213-216. – EDN YXEGWU
6. Сафаров, А. Г. Определение эффективного ускорения пылевых частиц хвоста комет C/1962 S1 и C/1995 O1 / А. Г. Сафаров, Ш. С. Бобоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. – № 4. – С. 195-207.
7. Моисеев, Н.Д. О вычислении кометоцентрических координат частицы кометного хвоста // Астрономический журнал. – 1924. – № 1-2. – С. 79-86.
8. Добровольский, О.В. Кометы / О.В. Добровольский. – М., 1966.
9. Fulle, M. Motion of cometary dust / M. Fulle // Comets II. Eds. Festou M. C., Keller H. U., Weaver H. A. – Tucson: Univ. of Arizona Press. – 2004. – Pp. 565-576.
10. Ибадинов, Х. И. Обобщенный метод решения обратной задачи механической теории кометных форм / Х. И. Ибадинов // ДАН ТаджССР. – 1981. – Т. 24. – № 1. – С. 22-27.

11. Сафаров, А. Г. Условия образования аномального хвоста комет / А. Г. Сафаров // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2017. – Т. 14. № 4. – С. 124-134. –
12. Ибадинов, Х. И. Скорости выброса метеороидных частиц из ядер комет / Х. И. Ибадинов, А. Г. Сафаров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 58. – № 11. – С. 983-989.
13. Safarov, A. G. Conditions for the formation of anomalous tail of comet / A. G. Safarov, K. I. Ibadinov // Open Astronomy. – 2019. – V. 28, No. 1. – Pp. 131-144. – DOI 10.1515/astro-2019-0009.
14. Сафаров, А. Г. Столкновения ядер комет с метеорными потоками / А. Г. Сафаров, А. С. Гулиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. – № 2. – С. 174-184.
15. Coma morphology and dust emission pattern of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / F. Manzini, V. Oldani, P. Ochner, E. Barbotin, L. R. Bedin, R. Behrend, G. Fardelli // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2021. – V. 506. – Pp. 6195-6202. – <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1849>.
16. Structural analysis of the dust tail of Comet NEOWISE (C/2020 F3) / Q. Afghan, G. H. Jones, O. Price, A. J. Coates // EPSC Abstracts. – 2022. – V. 16. – EPSC2022-895. – <https://doi.org/10.5194/epsc2022-895>.
17. Bischoff, R. Follow-up spectroscopy of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / R. Bischoff, M. Mugrauer // Astron. Nachr. – 2021. – Pp. 1–7. – DOI: 10.1002/asna.202113961.
18. Fulle, M. Potassium detection and lithium depletion in comets C/2011 I4 (PANSTARRS) and C/1965 S1 (Ikeya-Seki) / M. Fulle P. Molaro, L. Buzzi, P. Valisa // The Astrophysical Journal Letters. – 2013. – V. 771. – No 2. – L21. – DOI 10.1088/2041-8205/771/2/L21.
19. Schmidt, C.A. Observations of sodium in the coma of Comet C/2012 S1 (ISON) during outburst / Schmidt, C.A. Johnson RE, Baumgardner J, Mendillo M. // Icarus. – 2015. – V. 247. – Pp. 313-318.
20. Cremonese, G. Neutral sodium tails in comets / G. Cremonese, W. F. Huebner, H. Rauer, D. C. Boice // Advances in Space Research. – 2002. – V. 29. – Is. 8. – Pp. 1187-1197.

REFERENSEC

1. Rahmonov, A.A. Body of Solar System / A. A. Rahmonov. \–Dushanbe. Matbaa, 2012. – 268 c.
2. COMET C/2020 F3 (NEOWISE) / Minor Planet Electronic Circulars.\ – 2020. No 2020-G05. – April 1.
3. Falk, D. One of the brightest comets in decades is passing Earth. Here's how to see it / D. Falk\ National Geographic. – 2020. – July 29.
4. Safarov, A.G. Determination of effective acceleration of dust particles of dust tail a short-periodic comet 21PGiacobini-Zinner / A.G. Safarov, Sh.S. Boboev, M. K. Zuhurov // Bulletin of the Tajik National University, a series of natural Sciences. – 2019. – No 3. – Pp. 122-127.
5. Safarov, A.G. Determine effective acceleration dust particles sinkhronos tail of comet C/2006 P1 / A. G. Safarov, Kh. I. Ibadinov, Sh. S. Boboev, D. K. Ayubov // Bulletin of the Main Astronomical Observatory in Pulkovo. – 2018. – No 225. – Pp. 213-216.
6. Safarov, A.G. Determination of effective acceleration of dust particles of comets C/1962 C1 and C/1995 O1 / A.G. Safarov, Sh.S. Boboev // Bulletin of the Tajik National University, a series of natural Sciences. – 2021. – No 4. – Pp. 195-207.
7. Moiseev, N. D. Calculation of the cometocentric coordinates of the particle in tail of comets / N. D. Moiseev // Russian Astronomical Journal. –1924. – No 1-2. – Pp. 79-86.
8. Добровольский О.В. Кометы / О.В. Добровольский. – Москва. – 1966.
9. Fulle, M. Motion of cometary dust / О. В. Добровольский, М. Fulle // Comets II. Eds. Festou M. C., Keller H. U., Weaver H. A. – Tucson: Univ. of Arizona Press. – 2004. – Pp. 565-576.
10. Ibadinov, Kh.I. Generalized method for solving the inverse problem of the mechanical theory of comet forms / Kh.I. Ibadinov // DAN TadjzhSSR. – 1981. – V. 24. – No. 1. – Pp. 22-27.
11. Safarov, A.G. Conditions for educational anomalous tail of comet / A.G. Safarov // Ecological Bulletin of the BSEC Scientific Centers. – 2017. – No 4. – Is. 2. – Pp. 124-134.
12. Ibadinov, Kh. I. Ejection velocities of meteoroids particles from the nuclei of comets / Kh.I. Ibadinov, A.G. Safarov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2015. – V. 58. – No 11. – Pp. 983-989.
13. Safarov, A. G. Conditions for the formation of anomalous tail of comet / A. G. Safarov, K. I. Ibadinov // Open Astronomy. – 2019. – Vol. 28, No. 1. – Pp. 131-144. – DOI 10.1515/astro-2019-0009.
14. Safarov, A.G. Collision for comet nuclei with meteor streams / A. G. Safarov, A. S. Guliev // Bulletin of the Tajik National University, a series of natural Sciences. – 2022. – No 2. – Pp. 174-184.
15. Coma morphology and dust emission pattern of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / F. Manzini, V. Oldani, P. Ochner, E. Barbotin, L. R. Bedin, R. Behrend, G. Fardelli // Monthly Notices of the

- Royal Astronomical Society. – 2021. – V. 506. – Pp. 6195-6202. – <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1849>.
16. Structural analysis of the dust tail of Comet NEOWISE (C/2020 F3) / Q. Afghan, G. H. Jones, O. Price, A. J. Coates // EPSC Abstracts. – 2022. – V. 16. – EPSC2022-895. – <https://doi.org/10.5194/epsc2022-895>.
 17. Bischoff, R. Follow-up spectroscopy of comet C/2020 F3 (NEOWISE) / R. Bischoff, M. Mugrauer // Astron. Nachr. – 2021. – Pp. 1-7. – DOI: 10.1002/asna.202113961.
 18. Fulle, M. Potassium detection and lithium depletion in comets C/2011 I4 (PANSTARRS) and C/1965 S1 (Ikeya-Seki) / M. Fulle, P. Molaro, L. Buzzi, P. Valisa // The Astrophysical Journal Letters. – 2013. – V. 771. No 2. – L21. – DOI 10.1088/2041-8205/771/2/L21.
 19. Schmidt, C.A. Observations of sodium in the coma of Comet C/2012 S1 (ISON) during outburst / Schmidt, C.A. Johnson RE, Baumgardner J, Mendillo M. // Icarus. – 2015. – V. 247. – Pp. 313-318.
 20. Cremonese, G. Neutral sodium tails in comets / G. Cremonese, W. F. Huebner, H. Rauer, D. C. Boice // Advances in Space Research. – 2002. – V. 29. – Is. 8. – Pp. 1187-1197.

ТАҲҚИҚИ СИНХРОНАҲОИ ДУМИ ЧАНГИНИ КОМЕТАИ C/2020 F3 NEOWISE

Кометаи C/2020 F3 рӯзҳои 23, 25, 26 ва 27 июли соли 2020 аз Расадхонаи астрономии Ҳисори Институти астрофизикаи АМИТ бо телескопи АЗТ 8, бо асбоби нимнокили барқии FLI PRILINE дар филтрҳои BVRI бо фосилаи вақти то 120 сония гирифта шудааст. Коркарди аксҳои рақамӣ бо барномаи Кардуселл ва шакли аниқии думи чангин ва координатаҳои кометамарказиро бо усули Моисеев муайян карда шудааст. Шитоби босамари чангҳои думи комета муайян карда шуда, кимати онҳо дар ҳудуди аз 0,01 то 0,6 мехобад, ки ба гуногунодоза будани онҳо шаҳодат медиҳад. Бо диаграммаи Финсон-Пробштейн шакли ҳақиқии синхрона ва синдинамаи думи чангини кометаи C/2020 F3 барои рӯзҳои 23, 25, 26 ва 27 июли соли 2020 сохта шуд. Маълум гашт, ки сохтори дум дар давоми мушоҳида хеле зиёд тағйир ёфтааст. Чангҳо аз ҳастаи комета қаблан аз мушоҳида дар натиҷаи фаввораи пуршиддат тули 3,7 то 4,3 шабонарӯз аз нуктаи перигели гузаштани комета партофта шудаанд. Муқаррар карда шуд, ки чангҳои синхронаҳои думи чангин 1-уми июли соли 2020 партофта шудааст.

Калидвожаҳо: кометаи C/2020 F3 NEOWISE, ҳаста, ғаёлноқӣ, думи чангин, синхрона, синдинама, шитоби босамар, вақти ихроҷ, диаграммаи Финсон-Пробштейн, ихроҷи чанг.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОНА ПЫЛЕВОГО ХВОСТА КОМЕТЫ C/2020 F3 NEOWISE

Комета C/2020 F3 была наблюдена 23, 25, 26 и 27 июля 2020 г. в Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики НАН Таджикистана с помощью телескопа АЗТ 8, с ПЗС камерой FLI PROLINE на фильтрах RI с экспозицией до 120 секунд. Обработка цифровых фотографий проводилась с помощью программы Carducell, методом Моисеева была произведено перспективное проектирование пылевого хвоста и получены кометоцентрические координаты конца синхрон. Определены эффективные ускорения пылевого хвоста кометы, полученные значение лежит в диапазоне от 0,01 до 0,6, что свидетельствует об разнообразности пылевых частиц. С помощью диаграммы Финсона-Пробштейна была создана точная форма синхрон и синдинам для 23, 25, 26 и 27 июля 2020 года. Стало ясно, что структура хвоста сильно изменилась за время наблюдения. Выявлено, что пылевые частицы из ядра кометы выбрасывались от 3,7 до 4,3 суток до момента прохождения кометы точку перигелия орбиты. Установлено, что пылевые частицы в синхроне пылевого хвоста выброшены 1 июля 2020 года.

Ключевые слова: комета C/2020 F3 NEOWISE, ядро, активность, пылевой хвост, синхрона, синдинама, эффективное ускорение, время выброса, диаграмма Финсона-Пробштейна, выброс частиц.

STUDY OF THE SYNCHRON OF THE DUST TAIL OF COMET C/2020 F3 NEOWISE

Comet C/2020 F3 was observed on July 23, 25, 26 and 27, 2020 at the Hissar Astronomical Observatory of the Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan using the AZT 8 telescope, with a FLI PROLINE CCD camera on RI filters with an exposure of up to 120 seconds. The processing of digital photographs was carried out using the Carducell program, the perspective design of the dust tail was carried out using the Moiseev method, and the cometocentric coordinates of the end of synchronous were obtained. The effective accelerations of the dust tail of the comet are determined, the obtained value lies in the range from 0.01 to 0.6, which indicates the diversity of dust particles. Using the Finson-Probstein diagram, the exact form of synchronous and syndynamic for July 23, 25, 26 and 27, 2020 was created. It became clear that the structure of the tail had changed greatly during the observation period. It was found that dust particles from the comet's nucleus were ejected from 3.7 to 4.3 days before the comet passed the orbit's perihelion point. It has been established that dust particles in the dust tail synchronous were ejected on July 1, 2020.

Keywords: comet C/2020 F3 NEOWISE, nucleus, activity, dust tail, synchronous, syndynam, effective acceleration, ejection time, Finson-Probstein diagram, particle ejection.

Маълумот дар бораи муаллиф: **Бобоев Шафоат Саъдуллоевич** – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, кафедраи астрономияи факултети физика, ассистент. **Суроға:** 7340425, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ 17. **Тел.:** (+992) 935531500. **Email:** boboev120389@mail.ru.

Сведение об авторе: **Бобоев Шафоат Саъдуллоевич** – Таджикский национальный университет, кафедра астрономии физического факультета, ассистент **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Тел.:** (+992) 935531500. **Email:** boboev120389@mail.ru.

Information about the author: **Boboev Shafoat Sadulloevich** – Tajik national university, Department of Astronomy of the Faculty of Physics, assistant **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 935-53-15-00. **Email:** boboev120389@mail.ru.

УДК: 665.219.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИПИДОВ *HERMETIA ILLUCENS* ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВПрокудина О.В.¹, Песцов Г.В.¹, Третьякова А.В.¹, Мягкова А.С.¹, Бутенко С.А.¹, Мухторов¹ Л.Г., Каримов М.Б.²¹Тулский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,²Филиал национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в городе Душанбе

Класс насекомые составляет около 80% глобального разнообразия видов. Насекомые отличаются высокой плодовитостью и способностью к массовому размножению. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к насекомым как источнику высоко усвояемого кормового белка и жира с уникальными свойствами, антиоксидантов, иммуномодуляторов, сырья для получения новых лекарственных и косметических средств. Одним из важных факторов является возможность некоторых видов насекомых содержаться в культуре в искусственных условиях. Это позволяет использовать их в качестве источников полезных продуктов, получать популяции с определёнными физиолого-биохимическими и генетическими характеристиками, контролировать процессы биоконверсии субстратов, на которых развиваются насекомые, а также оценивать качественные и количественные показатели продуктов переработки биомассы насекомых для последующего применения в кормах, ветеринарии, фармакологии, косметологии.

Насекомое черная львинка (*Hermetia illucens*) – это крупная муха из семейства львинок (*Stratiomyidae*). Естественным ареалом распространения черной львинки являются тропические и субтропические регионы Северной и Южной Америки. Взрослая особь (имаго) имеет тело чёрного цвета, длиной 15-20 мм. Личинки достигают 27 мм в длину и весят до 440 мг в последней своей стадии развития. Данный вид насекомого является одним из немногих, способных круглогодично развиваться в культуре в замкнутом пространстве искусственных условий, что позволяет использовать вид в биотехнологических целях [1, с. 5]. При разведении мухи *H. illucens* основными факторами, воздействующими на рост и развитие, являются: освещение; влажность; температурный режим; кормовой субстрат. Несмотря на спектр факторов, необходимых для разведения черной львинки, насекомое отличается неприхотливостью. Личинки способны развиваться в широком диапазоне температуры (20–50°C) и влажности (40–90%). Ключевыми параметрами, необходимыми для интенсивного разведения насекомого, являются влажность воздуха, которая должна составлять не менее 70%, и температура воздуха (около 30°C), а также наличие питьевой воды и освещения [2, с. 106]. Интерес к разведению и использованию черной львинки заключается в утилизации различных органических отходов, получении белкового концентрата для производства кормов сельскохозяйственных животных и аквакультуры, а также жира и продуктов из него, для использования в химической, пищевой, фармацевтической и косметической отраслях [3, с. 49]. Личинки черной львинки способны перерабатывать широкий спектр органических отходов. Это связано с их всеядностью по отношению к углеводной и белковой пище. В результате деятельности ферментной системы личинок органические отходы превращаются в зоогумус с высоким содержанием азота, фосфора, калия и других макро- и микроэлементов, который можно использовать в качестве удобрения и улучшателя почв, а биомассу личинок в качестве корма для сельскохозяйственных животных, а также для получения белкового концентрата и жира [4, с. 363]. Процентное содержание различных веществ в личинках и пред куколками насекомого *H. illucens* зависит от качества корма и может варьировать. Так же на

биохимический состав сушёных личинок влияет метод сушки. Существует два метода: распылительная сушка и сушка в сушильном шкафу. При распылительной сушке содержание белка в личинках выше, но при сушке в сушильном шкафу выше содержание липидов. Считается, что метод распылительной сушки является более эффективным и качественным, а также отнимает меньше времени [16, с. 5].

Биохимический состав сушеных личинок может варьироваться. Он зависит от метода сушки, от корма, внешних факторов и других параметров, но чаще всего он составляет 35,5-48,3% белка, 20,6-45,5% жира, хитина 5-7%. К числу важных соединений относятся: сырой протеин (42%); липиды (35%); сырая клетчатка (7%); свободный экстракт азота (1,4%); зола (14,6%); кальций (5,0%); фосфор (1,5%), железо (1,0%). Среди незаменимых аминокислот, входящих в состав сушеных личинок, самыми распространёнными являются лейцин (3,62%), лизин (3,6%), валин (3,09%), гистидин (2,77%), метионин (1,07%), аргинин (2,84%), изолейцин (2,11%), треонин (2,52%), триптофан (0,66%), фенилаланил (2,28%). Среди заменимых: аланин (4,11%), аспарагиновая кислота (5,56%), глутаминовая кислота (6,98%), глицин (3,31%), пролин (4,08%), серин (2,55%), цистеин (1,07%). Так же личинки черной львинки имеют высокую концентрацию насыщенных жирных кислот, таких как лауриновая кислота (17,89%) и пальмитиновая кислота (20,65%) и полинасыщенных жирных кислот, таких как омега-3 (0,05%) и омега-6 (0,05%). Среди витаминов чаще всего встречаются В₁ (0,002%), В₂ (0,005%) и С (0,0003%). Наиболее распространёнными минералами, входящими в биохимический состав сушеных личинок, являются: калий, натрий, магний, цинк, марганец и медь [16, с. 6]. Содержание холестерина в личинках составляет 1,36 - 1,62 мг/г, это сравнимо с содержанием холестерина в креветках (1,5 мг/г), но основную массу стерина составляют стерин растительного происхождения (фитостерин). Таким образом, из-за достаточно высокого содержания фитостерина личинки мух *H. illucens* могут служить сырьем для производства продуктов питания для людей. Благодаря высокому содержанию незаменимых аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов биомасса сушеных личинок является качественным кормом для сельскохозяйственных животных, птицы, аквакультуры, а также для домашних животных: ежей, хомяков, крыс, шиншиллы, рептилий и др. При кормлении животных, птиц и аквакультуры личинками черной львинки их иммунная система становится более устойчивой, что позволяет экономить значительные суммы на ветеринарных препаратах. Так же, личинка черной львинки обладает большим количеством меланина, пигмента, имеющего высокую биологическую активность. Он способен оказывать противоопухолевое, иммуномодулирующее и противомикробное действие. Благодаря такому биохимическому составу, высушенная биомасса личинок характеризуется длительными сроками хранения, без потери полезных свойств [15, с. 2], [14, с. 6].

При помощи масло пресса из биомассы сушеных личинок получают белковый концентрат и жир. Белковый концентрат, полученный из сушеных личинок насекомого *H. illucens*, представляет собой продукт, содержащий высокое количество белка и других питательных веществ. Процесс получения концентрата начинается с выращивания личинок на корме, который содержит все необходимые питательные вещества для их роста и развития. Так же процесс получения белкового концентрата зависит от типа корма, на котором растут личинки. Повышенное содержание белка в кормах будет способствовать получению большего количества белкового концентрата. Когда личинки достигают двухнедельного возраста, их отбирают и отправляют на обработку. В процессе обработки личинок высушивают и пропускают через маслопресс, в результате получается белковый концентрат и жир. Полученный белковый концентрат содержит до 90% чистого белка. Белковый концентрат из насекомого *H. illucens*

является ценным продуктом для питания сельскохозяйственных и домашних животных. Он содержит все необходимые аминокислоты, витамины и минеральные вещества, которые требуются для их нормального роста и развития. Кроме того, белковый концентрат является источником белка, который после соответствующей очистки может использоваться для изготовления спортивного питания [6, с. 294].

В результате отжима сушеных личинок в маслопрессе, помимо белкового концентрата, получают жир. Жир является вторым компонентом по количественному содержанию в высушенной биомассе личинок *H. illucens* после белка (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав и питательная ценность белкового концентрата личинок *H. illucens* [6]

Table 1. Chemical composition and nutritional value of protein concentrate of *H. illucens* larvae [6]

Показатель	Содержание г/кг	Источник
Первоначальная влага	17,4	ГОСТ Р 54951-2012*
Воздушно-сухое вещество	982,6	ГОСТ 31640-2012*
Протеин	508,5	ГОСТ 32044.1-2012*
Хитин	78,31	ГОСТ 31675-2012*
Жир	76,45	ГОСТ 32905-2014*
Зола	61,71	ГОСТ 32933-2014*

Примечание: «*»- см. список литературы [8-13].

Жир является основным энергетическим субстратом и образуется в жировых тельцах насекомого, которые также участвуют в гормональной регуляции процессов жизнедеятельности и синтезе антимикробных пептидов. До 90% липидов черной львинки содержатся в форме триглицеридов, а остатки хранятся в виде липидных капелек. Эти структуры играют главную роль в регулировании липолиза путем защиты триглицеридов от активности липазы. Как правило, липиды насекомых остаются жидкими при комнатной температуре, за исключением жира *H. illucens*, который при комнатной температуре остаётся твёрдым. Его температура плавления 40°C, запах слабый, не гнилостный, цвет варьируется от белого до коричневого. Биохимический состав жира *H. illucens* характеризуется высоким содержанием лауриновой жирной кислоты, которая обладает бактерицидными свойствами, также он содержит монолаурин, который обладает антибактериальной, противовирусной и противогрибковой активностью. Помимо этого, жир черной львинки содержит противомикробные пептиды (цекропины, сартоксины, стомаксины и др.), которые наряду с остальными биологически активными веществами, входящими в биохимический состав жира, обеспечивают мощный антимикробный комплекс. Жир насекомого *H. illucens* может применяться для производства натуральной органической косметики. Основными компонентами в натуральной косметике являются жиры растительного происхождения (кокосовое масло, масло жожоба, масло бабассу) из-за высоко содержания лауриновой кислоты (около 39%). Масла с ее содержанием быстро впитываются кожей, дают ощущение мягкости кожи. Но

вместе с лауриновой кислотой в эти масла входит большое количество миристиновой кислоты (около 23%), которая вызывает образование комедонов и закупоривает поры. В составе жира личинок Черной львинки наблюдается большее количество лауриновой кислоты (от 49%) и меньшее количество миристиновой кислоты (около 7%), в таком количестве она не оказывает негативного эффекта на кожу, но при этом обладает антимикробной активностью, подавляет развитие патогенной микрофлоры. Большинство косметических брендов (Organic Shop, Organic Kitchen, Natura Siberica) в качестве эмолентов в составе своей продукции используют минеральное масло, парафин, жидкий парафин, вазелин. Эти компоненты считаются химически и биологически нейтральными. Они не впитываются в кожу, не усваиваются клетками, также они недорогие и стабильны в формуле продукта. Но при их регулярном применении на коже образуется непроницаемая пленка, из-за этого блокируется часть функций кожи [5, с. 2].

В целом жирнокислотный состав схож с кокосовым маслом. Поэтому жир *H. illucens* является качественным сырьем для изготовления различных уходовых косметических средств [7, с. 464].

Название	Действие
Каприновая кислота 1,1%	Обладает противомикробными свойствами, борется с кожными инфекциями и акне. Помогает бороться со свободными радикалами и предотвращает повреждение кожи от ультрафиолетовых лучей.
Лауриновая кислота 46,7%	Обладает противомикробными свойствами. Способна удерживать влагу в коже, предотвращая сухость и шелушение. Повышает эластичность кожи.
Миристиновая кислота 7,8%	Обладает антибактериальными свойствами.
Миристолеиновая кислота 0,2%	Обладает антиоксидантными свойствами, улучшает структуру кожи, противовоспалительные свойства.
Пентадекановая кислота 0,1%	Обладает антибактериальными свойствами, усиливает влагоудерживающие функции, тем самым увлажняя кожу. Увеличивает эластичность кожи, сужает поры.
Пальмитиновая кислота 10,6%	Повышает барьерную функцию кожи, обладает антиоксидантными свойствами, регулирует выработку себума.
Пальмитолеиновая кислота 2,2%	Стимулирует синтез коллагена, улучшает гидратацию и регенерацию кожи. Способствует созреванию кожных клеток.
Стеариновая кислота 1,8%	Используется в косметических и медицинских препаратах в качестве эмульгатора, стабилизатора и загустителя. Стимулирует регенерацию кожи и заживление ран, увлажняет кожу и сохраняет ее эластичность.
Олеиновая кислота 16%	Обладает эмоментными свойствами, защищает кожу от ультрафиолетового излучения, снижает воспалительные процессы.
Линолиевая кислота 11,2%	Укрепляет гидролипидную пленку кожи, обладает антимикробными и антиоксидантными свойствами.

Линоленовая кислота 1,6%	Улучшает микроциркуляцию кожи, обладает антиоксидантными свойствами, обладает противовоспалительными свойствами.
-----------------------------	--

Таблица 2. Жирнокислотный состав жира личинок *H. illucens* [5 - 7, 17]

Table 2. Fatty acid composition of the fat of *H. illucens* larvae [5 - 7, 17]

Методика: Работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка».

Для создания тестовых косметических уходовых средств использовали очищенный жир личинок *H. illucens*. Сначала личинки черной львинки высушивали в сушильном шкафу. Жир получали путём отжима сушёных личинок с помощью маслопресса. После получения, жир отстаивали в течение суток, и методом фильтрования избавлялись от взвешенных частиц. Натуральная косметическая основа содержит дополнительные органические компоненты: эфирные масла (замена отдушек и ароматизаторов), скрабящие компоненты (молотый кофе). Для изготовления уходовых косметических масел и скрабов, использовали 5 композиций эфирных масел, которые, кроме запаха, придают косметике дополнительные полезные свойства:

1. Лайм и мята. Масла лайма и мяты обладают противовоспалительным эффектом, тонизируют кожу, повышая ее упругость и эластичность, улучшают кровообращение, что благоприятно сказывается на состоянии кожи, делая ее более здоровой.

2. Лимон и эвкалипт. Масла имеют антисептические свойства, которые помогают бороться с различными воспалениями на коже. Так же увлажняют ее, делая более мягкой и гладкой. Масла повышают эластичность кожи и предотвращают появление мелких морщин. Ароматы лимона и эвкалипта помогают расслабиться, уменьшить накопившийся стресс и усталость.

3. Мандарин и корица. Их масла обладают антиоксидантным действием, которое способно защитить кожу от воздействия свободных радикалов. Эфирное масло корицы обладает антибактериальным действием и способно очистить кожу от бактерий и загрязнений. Ароматы эфирных масел мандарина и корицы улучшают настроение и повышают позитивный настрой.

4. Лаванда и лемонграсс. Готовая продукция обладает успокаивающим и антисептическим действием, интенсивно увлажняет кожу и препятствует появлению микротрещин. Эфирное масло лаванды освежает и успокаивает кожу, устраняет раздражения и улучшает ее цвет. Масло тонизирует и успокаивает кожу, повышает ее упругость и укрепляет естественный барьер эпидермиса, обеспечивает максимальное очищение, увлажнение, питание, делает кожу мягкой, гладкой и упругой.

5. Шалфей, мелissa и бергамот. Эфирное масло шалфея является мощным антибактериальным агентом, который защищает кожу от воспалений. Мелисса и бергамот обладают успокаивающим эффектом для кожи, снимая раздражения. Масла обладают антиоксидантными и увлажняющими свойствами, которые помогают предотвратить раннее старение кожи. Ароматы эфирных масел шалфея, мелиссы и бергамота успокаивают нервную систему и помогают избавиться от стресса и усталости.

Процесс приготовления уходовых косметических масел включает несколько ключевых этапов:

1. Ёмкость с жиром *H. illucens* помещают на водяную баню для перехода жира в жидкое состояние;

2. В растопленный жир добавляют эфирные масла;
3. Тщательно перемешивают полученную смесь с помощью стеклянной палочки;
4. Разливают полученную смесь в ёмкости и ставят в холодильник.

Для изготовления скрабов используется реакция омыления жиров с использованием гидроксида натрия. Процесс приготовления состоит из нескольких ключевых этапов.

1. Ёмкость с жиром *H. illucens* помещают на водяную баню для перехода жира в жидкое состояние;

2. В дистиллированную воду добавляют гидроксид натрия;

3. Растопленный жир смешивают с щелочным раствором. Самым важным моментов в данном технологическом процессе является температура жидкостей. Температура липидов и щелочного раствора должна быть либо одинакова, либо с отклонением не больше 4°C. После добавления щелочного раствора в жир полученная смесь тщательно перемешивается до однородной консистенции.

4. Смешанные жидкости помещают в сушильный шкаф при температуре 80-90°C на 5 часов;

5. Основа для скраба охлаждается до температуры 25-28°C.

6. В готовую основу добавляют скрабящие элементы и эфирные масла;

7. Полученную смесь разливают в ёмкости и ставят в холодильник.

Результаты: Изготовленные образцы скрабов и масел отправляли в аккредитованную испытательную лабораторию «LIGHT GROUP» испытательного центра «CERTIFICATION GROUP» для проверки соответствия продукции нормативным документам (ГОСТ Р).

Таблица 3. Протокол испытаний тестовых образцов скраба и масла

Table 3. Test protocol for test samples of scrub and oil

Наименование показателей и/или критерий соответствия НД	Единицы измерений	НД на методы испытаний	Значение показателей	
			По НД	результаты испытаний
Физико-химические показатели				
Водородный показатель (рН)	ед. (рН)	ГОСТ 29188.2-2014	3,0-9,0	5,2 ±0,1
Токсикологические показатели				
Индекс токсичности (общетоксическое действие, определяемое альтернативными методами <i>in vitro</i>)	усл. ед.	МР 1.1.0120-18	Отсутствует	Отсутствие (0) Продукция не токсична
Токсичные элементы				
Свинец	мк/кг	ГОСТ 31676-2012	Не более 5,0	Не обнаружено
Мышьяк	мк/кг	ГОСТ 31676-2012	Не более 5,0	Не обнаружено

Ртуть	мк/кг	ГОСТ 31676-2012	Не более 1,0	Не обнаружено
Клинические показатели				
Раздражающе е действие	балл	ГОСТ 32893-2014 п 8.2	0 баллов (отсутствие)	0 баллов (отсутствие)
Сенсибилизирующее действие	балл	ГОСТ 32893-2014 п 8.3	0 баллов (отсутствие)	0 баллов (отсутствие)
Микробиологический показатель				
Общее количество мезофильных аэробных микроорганизмов	КОЕв 1 г. (мл)	ГОСТ ISO 21149-2020	Не более 1x10 ³	Менее 15
Candida albicans	-	ГОСТ ISO 18416-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)
Escherichia coli	-	ГОСТ ISO 21150-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)
Staphylococcus aureus	-	ГОСТ ISO 22718-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)
Pseudomonas aeruginosa	-	ГОСТ ISO 22717-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)

На основании проведенных исследований и полученных результатов испытания, органом по сертификации продукции ООО "Эксперт-С", был выдан сертификат соответствия, в котором указано, что в продукции, изготовленной из жира насекомого черная львинка не содержится токсичных элементов и патогенной микрофлоры, раздражающее действие отсутствует.

Заключение: в результате проведённой научно-исследовательской работы удалось установить, что жир личинок *H. illucens* является безопасным и качественным сырьём для изготовления органических уходовых косметических средств, которые подойдут для использования людьми. Косметическая продукция, произведённая из жира личинок черной львинки, не обладает раздражающим кожу действием, не содержит токсичных веществ и патогенной микрофлоры, способствует заживлению микротрещин, обладает антиоксидантными и увлажняющими свойствами, которые помогают предотвратить раннее старение кожи.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минпросвещения России: «Биотехнологическая утилизация органических отходов с использованием различных групп макро- и микроорганизмов и получение новых продуктов с заданными свойствами».

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов А. М. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе // А.М.Антонов, Е.Лутовиновас, Г.А.Иванов, Н.О. Пастухова. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка Принципы экологии. 2017. Т. 6. № 3. – С.4–19. DOI: 10.15393/j1.art.2017.6302.
2. Логвиненко И.С. Решение проблемы белкового дефицита путем производства белка из насекомых // И.С.Логвиненко/ Материалы V международного молодежного экологического форума. 2021. – С.103-106.
3. Лихота, В.Ю. Перспективы выращивания и использования черной львинки (*Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)) в аквакультуре / В.Ю. Лихота // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы XVI международной молодежной научно–практической конференции, Пинск, 15 апреля 2022 г.: в 2-х ч. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.]; редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2022. – Ч. 2. – С. 49-50.
4. Песцов Г.В. Экологически безопасная утилизация отходов сельского хозяйства с использованием насекомого вида *Hermetia illucens*/ Г.В.Песцов, А.В.Третьякова, О.В. Прокудина// Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. – С.362-364. DOI: 10.24855/biosphere. v14i4.696.
5. Плотникова Е.Ю., Синькова М.Н., Исаков Л.К. Роль ненасыщенных кислот омега-3 в профилактике и лечении различных заболеваний (часть 1)/ Е.Ю.Плотникова, М.Н.Синькова, Л.К.Исаков// Лечащий врач. 2018. Т. 7. № 7. – С. 63. ISSN 1560-5175.
6. Ушакова Н.А. Физиологические основы питательной ценностиконцентрации личинок *Hermetia illucens* в рационе рыб/ Н. А.Ушакова, С. В.Пономарев, Ю.В.Федоровых, А.И.Бастраков, Д.С. Павлов // Известия РАН. Серия биологическая. 2020, № 3, С. 293–300.
7. Ушакова Н.А. Особенности липидной фракции личинок Черной львинки *Hermetia illucens* / Н.А.Ушакова, Е.С.Бродский, А.А.Коваленко, А.И.Бастраков, А.А.Козлова, Д.С. Павлов // Докл. РАН. 2016. Т. 468. № 4. – С.462–465.
8. ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества (с поправкой) (дата введения 2013-07-01). – М.: Стандартинформ, 2012.
9. ГОСТ Р 54951-2012 (ИСО 6496:1999) Корма для животных. Определение содержания влаги (дата введения 2013-07-01). – М.: Стандартинформ, 2013.
10. ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации (дата введения 2013-07-01). – М.: Стандартинформ, 2014.
11. ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005) Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Ч. 1. Метод Кьельдаля (дата введения 2014-07-01). – М.: Стандартинформ, 2014.
12. ГОСТ 32905-2014 (ISO 6492:1999) Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого жира (с поправкой) (дата введения 2016-01-01). – М.: Стандартинформ, 2015.
13. ГОСТ 32933-2014 (ISO 5984:2002) Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы (дата введения 2016-01-01). – М.: Стандартинформ, 2015.
14. Benzertiha A. Insect Fat in Animal Nutrition – A Review/ A.Benzertiha, B.Kierończyk, M.Rawski, Z. Mikołajczak // ResearchGate. 2020. – Pp. 1-46. DOI:10.2478/aoas-2020-0076/.
15. E. De Stefani. Plant sterols and risk of stomach cancer: a case-control study in Uruguay/ E. De Stefani, P.Boffetta, A.L. Ronco, P. Brennan, H. Deneo-Pellegrini, J. C. Carzoglio, M. Mendilaharsu // Nutrition and Cancer. 2000. V. 37. N. 2. – Pp. 1-4. DOI: 10.1207/S15327914NC372_4.
16. Nor Fatin Najihah Mohamad Zulkifli. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods/ Nor Fatin Najihah Mohamad Zulkifli, Annita Yong Seok-Kian, Lim Leong Seng, Saleem Mustafa, Yang-Su Kim, Rossita Shapawi // PLOS ONE. 2022. V. 17. No. 2. – Pp. 1-14. DOI: 10.1371/journal.pone.0263924.
17. Rabani V. Proteomics and Lipidomics of Black Soldier Fly (Diptera:Stratiomyidae) and Blow Fly (Diptera Calliphoridae) Larvae/ V.Rabani, H.Cheatsazan, S.Davani // Journal of Insect Science. 2019. V. 19. No. 3. – Pp.1-9. DOI: 10.1093/jisesa/iez050.

REFERENCES

1. Antonov A.M. Adaptation and prospects for breeding the black soldier fly (*Hermetia illucens*) in the circumpolar region // A.M. Antonov, E. Lutovinovas, G.A. Ivanov, N.O. Pastukhova. Adaptation and breeding prospects of the black soldier fly. Principles of ecology. 2017. Т. 6. No. 3. – Pp.4–19. DOI: 10.15393/j1.art.2017.6302.
2. Logvinenko I.S. Solving the problem of protein deficiency by producing protein from insects // I.S. Logvinenko/ Materials of the V International Youth Ecological Forum. 2021. – Pp.103-106.
3. Likhota, V.Yu. Prospects for growing and using the black soldier fly (*Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)) in aquaculture / V.Yu. Likhota // Scientific potential of youth - the future of Belarus: materials of the XVI International Youth Scientific and Practical Conference, Pinsk, April 15, 2022: in 2 parts / Ministry of Education of the Republic of Belarus [and others]; editorial board: V.I. Danube [and others]. – Pinsk: PolesGU, 2022. – Part 2. – Pp. 49-50.

4. Pestsov G.V. Environmentally safe disposal of agricultural waste using the insect species *Hermetia illucens* / G.V. Pestsov, A.V. Tretyakova, O.V. Prokudina // Biosphere. 2022. T. 14. No. 4. – Pp.362-364. DOI: 10.24855/biosphere. v14i4.696.
5. Plotnikova E.Yu., Sinkova M.N., Isakov L.K. Role of unsaturated omega-3 acids in the prevention and treatment of various diseases (part 1) / E.Yu. Plotnikova, M.N. Sinkova, L.K. Isakov // Attending physician. 2018. T. 7. No. 7. – P. 63. ISSN 1560-5175.
6. Ushakova N.A. Physiological basis of the nutritional value of the concentrate of *Hermetia illucens* larvae in the diet of fish / N.A.Ushakova, S.V.Ponomarev, Yu.V.Fedorovkyh, A.I.Bastrakov, D.S. Pavlov // News of the Russian Academy of Sciences. Biological series. 2020. No. 3. – Pp. 293–300.
7. Ushakova N.A. Features of the lipid fraction of the larvae of the Black soldier fly *Hermetia illucens* / N.A. Ushakova, E.S. Brodsky, A.A. Kovalenko, A.I. Bastrakov, A.A. Kozlova, D.S. Pavlov // Dokl. RAS. 2016. T. 468. No. 4. – Pp.462–465.
8. GOST 31640-2012 Feed. Methods for determining dry matter content (as amended) (date of introduction 2013-07-01). – M.: Standartinform, 2012.
9. GOST R 54951-2012 (ISO 6496:1999) Animal feed. Determination of moisture content (date of introduction 2013-07-01). – M.: Standartinform, 2013.
10. GOST 31675-2012 Feed. Methods for determining crude fiber content using intermediate filtration (date of introduction 2013-07-01). – M.: Standartinform, 2014.
11. GOST 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005) Feed, compound feed, compound feed raw materials. Determination of the mass fraction of nitrogen and calculation of the mass fraction of crude protein. Part 1. Kjeldahl method (date of introduction 2014-07-01). – M.: Standartinform, 2014.
12. GOST 32905-2014 (ISO 6492:1999) Feed, compound feed, compound feed raw materials. Method for determination of crude fat content (adjusted) (date of introduction: 2016-01-01). – M.: Standartinform, 2015.
13. GOST 32933-2014 (ISO 5984:2002) Feed, compound feed. Method for determining raw ash content (date of introduction 2016-01-01). – M.: Standartinform, 2015.
14. Benzertiha A. Insect Fat in Animal Nutrition – A Review/ A.Benzertiha, B.Kierończyk, M.Rawski, Z. Mikołajczak // ResearchGate. 2020. – Pp. 1-46. DOI:10.2478/aoas-2020-0076/.
15. E. De Stefani. Plant sterols and risk of stomach cancer: a case-control study in Uruguay/ E. De Stefani, P.Boffetta, A.L. Ronco, P. Brennan, H. Deneo-Pellegrini, J. C. Carzoglio, M. Mendilaharsu // Nutrition and Cancer. 2000. V. 37. N. 2. – Pp. 1-4. DOI: 10.1207/S15327914NC372 4.
16. Nor Fatin Najihah Mohamad Zulkifli. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods/ Nor Fatin Najihah Mohamad Zulkifli, Annita Yong Seok-Kian, Lim Leong Seng, Saleem Mustafa, Yang-Su Kim, Rossita Shapawi // PLOS ONE. 2022. V. 17. No. 2. – Pp. 1-14. DOI: 10.1371/journal.pone.0263924.
17. Rabani V. Proteomics and Lipidomics of Black Soldier Fly (Diptera:Stratiomyidae) and Blow Fly (Diptera Calliphoridae) Larvae/ V.Rabani, H.Cheatsazan, S.Davani // Journal of Insect Science. 2019. V. 19. No. 3. – Pp.1-9.DOI: 10.1093/jisesa/iez050.

ИСТИФОДАИ HERMETIA ILLUCENS LIPID БАРОИ ИСТЕҲСОЛИ КОСМЕТИКӢ

Навъи ҳашароти *Hermetia illucens* (пашшаи сиёҳ) яке аз объектҳои ояндадори тадқиқоти биотехнологӣ ба ҳисоб меравад, зеро дар ҷараёни истифодаи интенсивии партовҳои гуногуни органикӣ кирми сиёҳ дар таркиби худ миқдори зиёди сафеда (60-70%) ва рағган (30-40%) ҷамъ мекунад. Протеинро барои ҳӯроки чорво истифода бурдан мумкин аст ва рағгани *Hermetia illucens* барои саноати кимиё, ҳӯрокворӣ, фарматсевтӣ ва косметика ашёи хоми перспективанок мебошад, зеро дар таркибаш миқдори зиёди кислотаҳои рағган, фосфолипидҳо ва пигментҳои мавҷуданд, ки хосиятҳои ғоиданок доранд.

Калидвожаҳо: липидҳо, *Hermetia illucens*, косметика, пашшаи сиёҳ, коркади партовҳои сиёҳ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИПИДОВ HERMETIA ILLUCENS ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Вид насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) является одним из наиболее перспективных объектов биотехнологических исследований, так как в процессе интенсивной утилизации различных органических отходов личинки чёрной львинки накапливают в своём составе большое количество белка (60-70 %) и жира (30-40%). Белок можно использовать на корм сельскохозяйственным животным, а жир *Hermetia illucens* является перспективным сырьём для химической, пищевой, фармацевтической и косметической отраслей, так как в своём составе он содержит большое количество жирных кислот, фосфолипидов, пигментов, которые обладают полезными свойствами.

Ключевые слова: липиды, *Hermetia illucens*, черная львинка, косметические средства, утилизация отходов

USE OF HERMETIA ILLUCENS LIPID FOR COSMETIC PRODUCTION

The insect species *Hermetia illucens* (black soldier fly) is one of the most promising objects of biotechnological research, since in the process of intensive utilization of various organic wastes, black soldier fly larvae accumulate in their composition a large amount of protein (60-70%) and fat (30-40%). Protein can be used for animal feed, and *Hermetia illucens* fat is a promising raw material for the chemical, food, pharmaceutical and cosmetic industries, as it contains a large amount of fatty acids, phospholipids, and pigments that have useful properties.

Key words: Lipids, *Hermetia illucens*, cosmetics, (Black fly), waste disposal.

Маълумот дар бораи муаллифон: Прокудина Ольга Владимировна - Донишгоҳи давлатии педагогии шаҳри Тула ба номи Л. Н. Толстой, Маркази бартарии технологӣ-кимиёвӣ ва биотехнологияи пешрафта, лаборант. **Суроға:** 300026, Русия, Тула, хиёбони Ленин, 125. ЧДММ «Львинка» Телефон: +7 (902) 753-24-90. E-mail: prokudinaolga11@gmail.com

Пестсов Георгий Вячеславович - Донишгоҳи давлатии педагогии шаҳри Тула ба номи Л. Н. Толстой, доктори илмҳои кишоварзӣ, профессор. **Суроға:** 300026, Русия, Тула, хиёбони Ленин, 125. ЧДММ «Львинка». Телефон: +7 (915) 781-15-45. E-mail: georgypestsov@gmail.com

Третьякова Анастасия Валеревна - Донишгоҳи давлатии педагогии шаҳри Тула ба номи Л. Н. Толстой, Маркази бартарии технологӣ-кимиёвӣ ва биотехнологияи пешрафта, корманди хурди илмӣ. **Суроға:** 300026, Русия, Тула, хиёбони Ленин, 125. ЧДММ «Львинка» Телефон: +7 (980) 729-31-69. E-mail: glazynovaanastasiya@gmail.com

Мягкова Анастасия Сергеевна - Донишгоҳи давлатии педагогии шаҳри Тула ба номи Л. Н. Толстой, Технопарки салоҳиятҳои умумии педагогӣ, омӯзгори таҳсилоти иловагӣ. **Суроға:** 300026, Русия, Тула, хиёбони Ленин, 125. ЧДММ «Львинка». Телефон: +7 (953)-424-47-80. E-mail: myagkova.nastasia@gmail.com

Бутенко Сергей Алесеевич - Донишгоҳи давлатии педагогии шаҳри Тула ба номи Л. Н. Толстой, Муассисаи Бучетии Давлатии Федералии Фарҳанг Мамнӯъгоҳи Давлатии Ёдгорӣ ва табиӣ осорхона, мудири маҷмааи ёдгорӣ-табиӣ. **Суроға:** 300026, Русия, Тула, хиёбони Ленин, 125. ЧДММ «Львинка» Телефон: +7 930 893 30 66. E-mail: b@lvinka.ru

Мухторов Лоик Гургович - Донишгоҳи давлатии педагогии шаҳри Тула ба номи Л. Н. Толстой, Маркази бартарии технологӣ-кимиёвӣ ва биотехнологияи пешрафта, корманди илмӣ. **Суроға:** 300026, Русия, Тула, хиёбони Ленин, 125. ЧДММ «Львинка» Телефон: +7 (953) 188-46-16. E-mail: mukhtorov.loik@mail.ru

Каримов Маҳмадқул Бобоевич - Филиали Донишгоҳи Миллии Таҳқиқотии Технологии "МИСиС", доктори илҳои химия, профессор. **Суроға:** Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Назаршоев, 7. Телефон: +992 (919) 410241. E-mail: karimovm.b@mail.ru

Сведения об авторах: Прокудина Ольга Владимировна – Тульский государственный педагогический университет им. Н. Толстой, Центр передового технологического, химического и биотехнологического совершенства, лаборант. **Адрес:** 300026, Россия, г. Тула, проспект Ленина, 125. ООО «Львинка» **Телефон:** +7 (902) 753-24-90. **E-mail:** prokudinaolga11@gmail.com

Песцов Георгий Вячеславович – Тульский государственный педагогический университет им. Н. Толстой, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. **Адрес:** 300026, Россия, г. Тула, проспект Ленина, 125. ООО «Львинка». **Телефон:** +7 (915) 781-15-45. **E-mail:** georgypestsov@gmail.com

Третьякова Анастасия Валеревна – Тульский государственный педагогический университет им. Н. Толстой, Центр технико-химического совершенства и передовой биотехнологии, младший научный сотрудник. **Адрес:** 300026, Россия, г. Тула, проспект Ленина, 125. ООО «Львинка» **Телефон:** +7 (980) 729-31-69. **E-mail:** glazynovaanastasiya@gmail.com

Мягкова Анастасия Сергеевна – Тульский государственный педагогический университет им. Н. Толстой, Технопарк универсальных педагогических компетенций, педагог дополнительного образования. **Адрес:** 300026, Россия, г. Тула, проспект Ленина, 125. ООО «Львинка». **Телефон:** +7 (953)-424-47-80. E-mail: myagkova.nastasia@gmail.com

Бутенко Сергей Алесеевич – Тульский государственный педагогический университет им. Н. Толстой, Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры, Государственный памятник-заповедник и природный музей, заведующий учебно-природным комплексом. **Адрес:** 300026, Россия, г. Тула, проспект Ленина, 125. ООО «Львинка». **Телефон:** +7 930 893 30 66. **E-mail:** b@lvinka.ru

Мухторов Лоик Гургович – Тульский государственный педагогический университет им. Н. Толстой, Центр передового технологического, химического и биотехнологического совершенства, научный сотрудник **Адрес:** 300026, г. Тула, пр. Ленина, 125. ООО «Львинка» **Телефон:** +7 (953) 188-46-16. **E-mail:** mukhtorov.loik@mail.ru

Каримов Маҳмадқул Бобоевич – Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», доктор химических наук, профессор. **Адрес:** Республика

Таджикистан, Душанбе, улица Назаршоева, 7. **Телефон:** +992 (919) 410241. **E-mail:** karimovm.b@mail.ru

Information about the authors: Prokudina Olga Vladimirovna – Tula State Pedagogical University named after. N. Tolstoy, Center for Advanced Technological, Chemical and Biotechnological Excellence, laboratory assistant. **Address:** 300026, Russia, Tula, Lenin Avenue, 125. LLC "Lvinka". **Phone:** +7 (902) 753-24-90. **E-mail:** prokudinaolga11@gmail.com

Pestsov Georgy Vyacheslavovich – Tula State Pedagogical University named after. N. Tolstoy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor. **Address:** 300026, Russia, Tula, Lenin Avenue, 125. LLC "Lvinka". **Phone:** +7 (915) 781-15-45. **E-mail:** georgypestsov@gmail.com

Tretyakova Anastasia Valerievna – Tula State Pedagogical University named after. N. Tolstoy, Center for Technical and Chemical Excellence and Advanced Biotechnology, junior researcher. **Address:** 300026, Russia, Tula, Lenin Avenue, 125. LLC "Lvinka". **Phone:** +7 (980) 729-31-69. **E-mail:** glazynovaanastasiya@gmail.com

Myagkova Anastasia Sergeevna – Tula State Pedagogical University named after. N. Tolstoy, Technopark of universal pedagogical competencies, teacher of additional education. **Address:** 300026, Russia, Tula, Lenin Avenue, 125. LLC "Lvinka". **Phone:** +7 (953)-424-47-80. **E-mail:** myagkova.nastasia@gmail.com

Butenko Sergey Aleseevich - Tula State Pedagogical University named after L. N. Tolstoy, Federal State Budgetary Institution of Culture, State Monument Reserve and Natural Museum, manager of the educational-natural complex. **Address:** 125 Lenin Avenue, Tula, Russia, 300026. LLC "Lvinka". **Phone:** +7 930 893 30 66. **E-mail:** b@lvinka.ru

Mukhtorov Loik Gurgovich – Tula State Pedagogical University named after. N. Tolstoy, Center for Advanced Technological, Chemical and Biotechnological Excellence, Researcher **Address:** 300026, Tula, Lenin Ave., 125. LLC "Lvinka". **Phone:** +7 (953) 188-46-16. **E-mail:** mukhtorov.loik@mail.ru

Karimov Makhmadkul Boboevich – Branch of the National Research Technological University "MISiS", Doctor of Chemical Sciences, Professor. **Address:** Republic of Tajikistan, Dushanbe, Nazarshoeva street, 7. **Phone:** +992 (919) 410241. **E-mail:** karimovm.b@mail.ru

УДК: 547

СИНТЕЗ 2-АРИЛЗАМЕЩЁННЫХ-12Н-БЕНЗОТИАЗОЛО[3,2-В] ХИНАЗОЛИН-12-ОНОВ ПО РЕАКЦИИ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ-МИЯУРЫ

Карамбахшов Х.З.¹, Халикова С.¹, Джафари Б.², Лангер П.²,
Сафаров С.Ш.¹

¹Институт химии им. В. И. Никитина НАНТ,

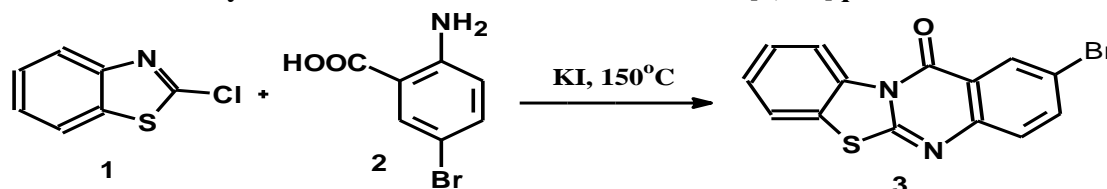
²Институт органической химии университета Росток, Германия

Введение. Палладием катализируемые реакции кросс-сочетаний, такие, как Кумада-Тамао-Корриу [1, с. 536; 2, с. 1576; 3, с. 25566] (Mg), Сузуки-Мияура [4, с. 3805; 5, с. 936; 6, с. 471] (B), Стилле-Мигита-Косуги [7, с. 470; 8, с. 138; 9, с. 4938] (Sn), Хияма-Дания [10, с. 13109; 11, с. 3; 12, с. 14400] (Si) и реакция Нигаши [13, с. 1541; 14, с. 417; 15, с. 18043] (Zn) коренным образом изменили практику органического синтеза, как в академических, так и в промышленных масштабах [16, с. 6723; 17, с. 5063; 18, с. 1811]. Среди этих реакций, удостоенных Нобелевской премии, реакция Сузуки-Мияуры является основным процессом кросс-сочетания, используемым во всех дисциплинах химии, а также в промышленном тонком химическом синтезе и синтезе фармацевтических препаратов [19, с. 4740; 20, с. 13481; 21, с. 2; 22, с. 3; 23, с. 1105], благодаря своей надежности, широкой совместимости функциональных групп и доступу к широкому спектру коммерчески доступных реагентов на основе бора.

В данной статье приведены результаты наших исследований по синтезу 2-арилзамещённых-12Н-бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-онов при использовании реакции кросс-сочетания Сузуки-Мияуры, исходя из 2-бром-12Н-бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-онов и, соответственно, арилбороновой кислоты.

Обсуждение результатов. Бромированный бензотиазолохиназолинон **3**, как исходный скаффолд, был получен конденсацией коммерчески доступного 2-хлоробензотиадиазола **1** с 5-бромантраниловой кислотой **2**, с выходом 90%, согласно адаптированным методам [24, с. 11072; 25, с. 277] (схема 1).

Схема 1 - Синтез 2-бromo-12Н-бензотиазоло[2,3-*b*]хиназолин-12-она
Scheme 1 - Synthesis of 2-bromo-12H-benzothiazolo[2,3-*b*]quinazolin-12-one



В дальнейшем соединение **3** было использовано, как субстрат в реакции кросс-сочетания Сузуки-Мияуры с фенил-бороновой кислотой (схема 2 и таблица 1).

Схема 2 - Реакция кросс-сочетания Сузуки-Мияуры для получения соединения 4а
Scheme 2 - Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction to obtain compound 4a

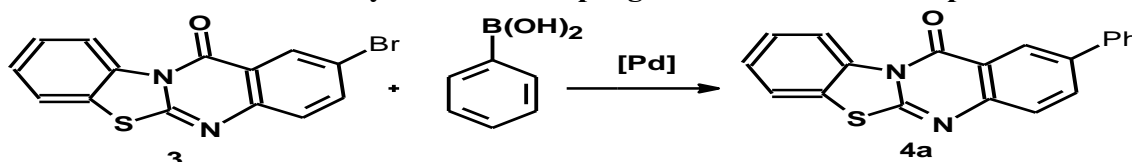


Таблица 1 - Оптимизация реакции Сузуки-Мияуры для соединения 4а
Table 1 - Optimization of the Suzuki-Miyaura reaction for compound 4a

Реак-	Катализатор,	Лиганд,	Основание,	Растворитель	Выход,
-------	--------------	---------	------------	--------------	--------

Ции	моль%	моль%	экв.		%
1	Pd(OAc) ₂ 1	XPhos 2	K ₂ CO ₃ 2.0	DMF	-
2	Pd ₂ (dba) ₃ 1	XPhos, 4	K ₃ PO ₄ 2.0	<i>n</i> -бутанол	24
3	Pd ₂ (dba) ₃ 1	DavePhos 8	K ₃ PO ₄ 2.0	<i>n</i> -бутанол	22
4	Pd ₂ (dba) ₃ 1	XPhos 2	Na ₂ CO ₃ 2.4	Диоксан:H ₂ O	30
5	Pd(PPh ₃) ₄ 4	XPhos 8	Na ₂ CO ₃ 2.4	Диоксан:H ₂ O	85

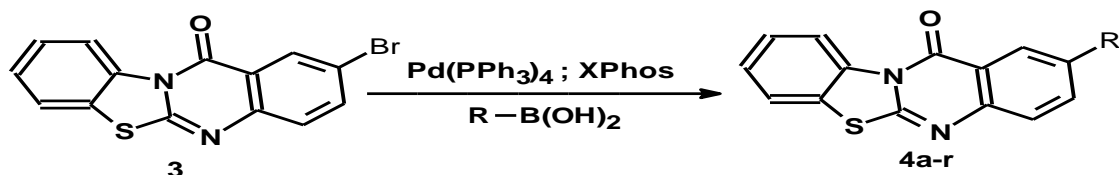
Для оптимизации данной реакции мы изучили несколько условий, варьируя компоненты реакции – тип палладиевого катализатора, лиганды, основания и растворители. Мы выявили, что выбор палладиевого катализатора очень важен для результата реакции. Применение Pd(OAc)₂ не привело к образованию целевого продукта. При использовании Pd₂(dba)₃ желаемый арилированный продукт образовывался с низким выходом. Наконец, продукт **4a** был получен с высоким выходом при применении Pd(PPh₃)₄, как катализатора, в присутствии 8 моль% дополнительного лиганда XPhos.

После разработки соответствующих условий для реакции Сузуки-Мияуры, была изучена применимость этой реакции для различных арилбороновых кислот (схема 3).

Все продукты были получены с умеренными и хорошими выходами. Разработанные условия реакции показали широкую применимость к различным функциональным группам, включая фтор-, метокси-, сложноэфирные или формильные группы. Кроме того, успешно использовались в этой реакции 2- и 3-тиенил- и даже метилбороновая кислота. Обычно наличие электронно-донорных групп, таких, как алкилированные или метокси-замещённые, приводило к более высоким выходам желаемого продукта, чем наличие групп электронно-акцепторных заместителей. Стерические эффекты также оказывают незначительное влияние на выход продуктов реакции. В частности, введение в реакцию *орто*-, *мета*- и *пара*-замещённых арилбороновых кислот приводило к одинаково хорошему выходу целевых продуктов (см. **4b-d** и **4f-h**).

Схема 3 - Получение целевых продуктов 4a-r из 3 в условиях реакции кросс-сочетания Сузуки. R=C₆H₅: 4a (выход 85%); R=4-CH₃C₆H₄: 4b (80%); R=2-CH₃C₆H₄: 4c (73%); 3-CH₃C₆H₄: 4d (70%); 3,5-(CH₃)₂C₆H₃: 4e (69%); 4-CH₃OC₆H₄: 4f (76%); 2-CH₃OC₆H₄: 4g (73%); 3-CH₃OC₆H₄: 4h (68%); 2,2-(CH₃O)₂C₆H₃: 4i (68%); 3,5-(CH₃O)₂C₆H₃: 4j (65%); R=4-FC₆H₄: 4k (55%); R=4-CF₃C₆H₄: 4l (43%); R=2-тиенил-C₆H₄: 4m (53%); R=3-тиенил-C₆H₄: 4n (48%); 4-H₅C₆C₆H₄: 4o (43%); 2-НОСС₆H₄: 4p (51%); 2-EtOOC₆H₄: 4q (53%); CH₃: 4r (61%)

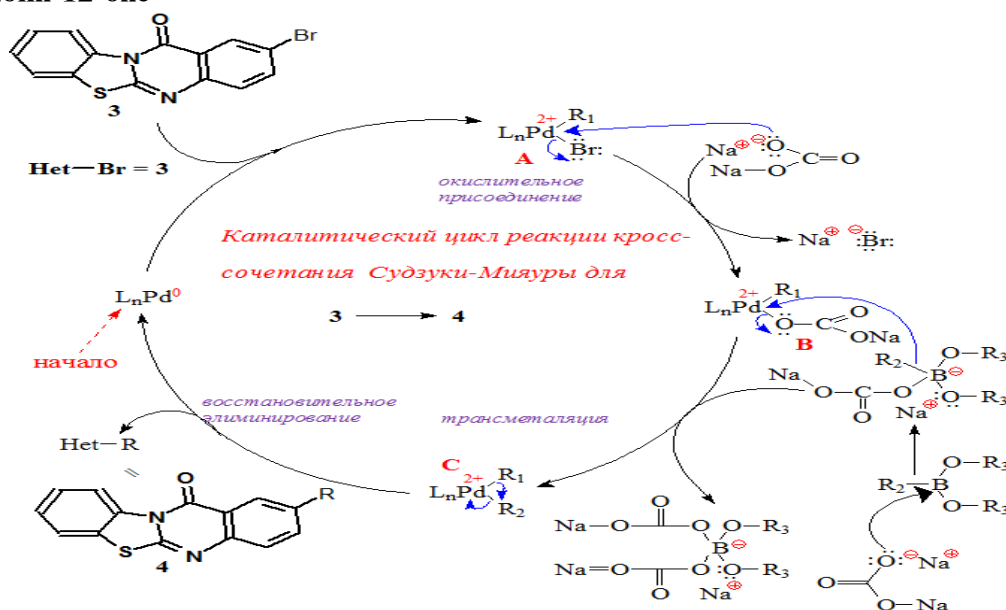
Scheme 3 - Preparation of target products 4a-r from 3 under Suzuki cross-coupling reaction conditions. R=C₆H₅: 4a (yield 85%); R=4-CH₃C₆H₄: 4b (80%); R=2-CH₃C₆H₄: 4c (73%); 3-CH₃C₆H₄: 4d (70%); 3,5-(CH₃)₂C₆H₃: 4e (69%); 4-CH₃OC₆H₄: 4f (76%); 2-CH₃OC₆H₄: 4g (73%); 3-CH₃OC₆H₄: 4h (68%); 2,2-(CH₃O)₂C₆H₃: 4i (68%); 3,5-(CH₃O)₂C₆H₃: 4j (65%); R=4-FC₆H₄: 4k (55%); R=4-CF₃C₆H₄: 4l (43%); R=2-thienyl-C₆H₄: 4m (53%); R=3-thienyl-C₆H₄: 4n (48%); 4-H₅C₆C₆H₄: 4o (43%); 2-НОСС₆H₄: 4p (51%); 2-EtOOC₆H₄: 4q (53%); CH₃: 4r (61%)



Механизм протекания реакции, согласно реакции кросс-сочетания Сузуки, состоит из прекаталитического процесса, если это необходимо, окислительного присоединения, трансметаллирования и восстановительного расщепления (Рис. 1)

Рис.1. Каталитический цикл реакции кросс-сочетания Сузуки-Мияуры с получением 2-R-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-она из 2-бром-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-она

Fig.1. Catalytic cycle of the Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction to prepare 2-R-12H-benzothiazolo[2,3-b] quinazolin-12-one from 2-bromo-12H-benzothiazolo[2,3-b] quinazolin-12-one



Заключение

Мы вовлекли 2-бром-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он в реакцию кросс-сочетания Сузуки-Мияуры с различными арилбороновыми кислотами. Выявлено, что лучшим из каталитических условий для получения продукта кросс-сочетания является применение $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ 4 моль%, как катализатора, в присутствии 8 моль% лиганда XPhos, основания Na_2CO_3 2.4 моль% и растворителя диоксан:вода (4:1), при 100°C в течение 16 часов. Определено, что разработанные условия проявили толерантность к различным арилбороновыми кислотами с электронно-донорными и электронно-акцепторными заместителями. Также было показано, что влияние стерических эффектов, в частности, *орто*-, *мета*- и *пара*-замещённых арилбороновых кислот при проведении реакций незначительное.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходные соединения для синтеза и растворители были доступны в торговле с чистотой более 99.5% основного компонента. Для тонкослойной хроматографии (ТСХ) были использованы пластинки марки Merck Silica 60 F254 над поверхностью алюминия от фирмы Macherey-Nagel. Для хроматографической колонки был использован силикагель марки Fluka silica gel 60 (0.063-0.200 мм, 70-320 меш) от фирмы Fluka.

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C были записаны на инструментах Bruker 300, 400, Advance 600, AXM 400 Varian Mercury 400. В качестве внутреннего стандарта был использован тетраметилсилан ($d=0/00$ м.д.) Для калибровки ЯМР-сигналов были

использованы стандартные сигналы хлороформа (7.260 м.д. для ^1H , 77.160 м.д. для ^{13}C). Для обозначения сигналов были использованы следующие сокращения: с (синглет), д (дублет), т (триплет), дд (двойной дублет) ддд (двойной двойной дублет), пт (псевдотриплет), к (квартет), п (пентет), гепт (гептет). Инфракрасные (ИК) спектры были записаны на спектрометре марки Bruker ALPHA-R с использованием метода ослабленного, полного отражения (attenuated total reflectance). Для обозначения сигналов ИК-спектров были использованы следующие сокращения: сл (слабый), ср (средний) и сил (сильный).

Масс-спектры были записаны на приборе Finigal MAT 95. Масс-спектры высокого разрешения были измерены на приборе QNOF ULTIMA 3, Thermo Electron LCQ Deca (San Jose, CA) ESI-технологии. Элементный состав синтезированных соединений был выполнен в микроаналитической лаборатории университета Ростока.

Общая методика получения 2-арилзамещённых-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-онов - 4а-г

2-Бromo-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он **3** (1.0 экв., 0.30 ммоль), производные бороновой кислоты (1.5 экв.), Pd(PPh₃)₄ (0.04 экв.), XPhos (0.08 экв.) и карбонат калия (2.4 экв.) были интенсивно перемешаны и нагреты в смеси 1,4-диоксан: вода (4:1 мл) при температуре 100°C в течение 16 часов. После охлаждения до комнатной температуры реакционная масса была разбавлена водой и экстрагирована этилацетатом. Органический слой был высушен безводным сульфатом натрия, и растворитель был выпарен. Оставшийся твёрдый остаток был очищен хроматографической колонкой над силикагелем (ЭА:гептан).

2-Фенил-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4а

Получен из **3** и фенил-бороновой кислоты согласно разработанной общей методики для **4а-г**. Выход 85 мг (85%), твёрдое белое вещество с т.пл. 206-208°C. ЯМР ^1H (CD₃SOCD₃), δ , м.д., Гц: 8.90 (д, $^3\text{J}=7.75$, 1H, CH_{Ar}), 8.50 (д, $^4\text{J}=2.05$, 1H, CH_{Ar}), 8.19 (дд, $^3\text{J}=8.42$, $^4\text{J}=2.17$, 1H, CH_{Ar}), 7.99 (д, $^3\text{J}=7.65$, 1H, CH_{Ar}), 7.79 (д, $^3\text{J}=7.65$, 2H, CH_{Ar}), 7.74 (д, $^3\text{J}=8.50$, 1H, CH_{Ar}), 7.57 (т, $^3\text{J}=8.32$, 1H, CH_{Ar}), 7.52 (т, $^3\text{J}=7.90$, 3H, CH_{Ar}), 7.42 (т, $^3\text{J}=7.35$, 1H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 160.18 (C_{Ar}), 157.04 (C_{Ar}), 146.11 (C_{Ar}), 138.71 (C_{Ar}), 137.40 (C_{Ar}), 135.82 (CH_{Ar}), 133.47 (C_{Ar}), 129.19 (CH_{Ar}), 127.90 (C_{Ar}), 126.82 (C_{Ar}), 126.81 (CH_{Ar}), 126.76 (CH_{Ar}), 126.43 (CH_{Ar}), 123.81 (CH_{Ar}), 123.47 (CH_{Ar}), 122.88 (CH_{Ar}), 118.68 (CH_{Ar}), 118.28 (CH_{Ar}). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3112 (сл), 3064 (сл), 1746 (сл), 1688 (сил), 1585 (ср), 1568 (сил), 1544 (ср), 1472 (ср), 1406 (сл), 1310 (ср), 1262 (ср), 1182 (сл), 1021 (ср), 965 (ср), 826 (ср), 762 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 328 (100), 299 (8), 298 (4), 166 (4), 164 (8), 140 (8), 139 (7), 90 (3), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₂₀H₁₂ON₂S: 329.07431, найден - 329.07427. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₀H₁₂ON₂S: C - 73.15; H - 3.68; N - 8.53, найден, в %: C - 73.16; H - 3.70; N - 8.55.

2-(4-Толил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4б

Получен из **3** и 4-толил-бороновой кислоты. Выход 83 мг (80%), твёрдое белое вещество с т.пл. 223-225°C. ^1H ЯМР (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.04 (д, $^3\text{J}=8.07$, 1H, CH_{Ar}), 8.61 (д, $^4\text{J}=1.89$, 1H, CH_{Ar}), 8.02 (дд, $^3\text{J}=8.73$, $^4\text{J}=1.86$, 1H, CH_{Ar}), 7.71 (д, $^3\text{J}=8.49$, 1H, CH_{Ar}), 7.60 (д, $^3\text{J}=7.84$, 2H, CH_{Ar}), 7.40-7.52 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.28 (д, $^3\text{J}=7.80$, 2H, CH_{Ar}), 2.41 (с, 3H, CH₃). ^{13}C ЯМР (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 161.04 (C_{Ar}), 156.76 (C_{Ar}), 146.34 (C_{Ar}), 138.86 (C_{Ar}), 137.88 (C_{Ar}), 136.73 (C_{Ar}), 136.29 (C_{Ar}), 133.82 (CH_{Ar}), 129.88 (CH_{Ar}), 127.09 (CH_{Ar}), 127.00 (CH_{Ar}), 126.90 (CH_{Ar}), 126.49 (CH_{Ar}), 124.72 (CH_{Ar}), 123.98 (C_{Ar}), 121.96 (CH_{Ar}), 119.47 (CH_{Ar}), 118.96 (C_{Ar}), 21.28 (CH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3117 (сл), 3064 (сл), 2961 (сл), 1686 (сил), 1581 (ср), 1542 (сил),

1476 (сил), 1339 (ср), 1303 (ср), 1208 (сл), 1129 (сл), 1021 (ср), 945 (сл), 818 (сил), 753 (сил). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 342 (100), 341 (20), 313 (5), 192 (2), 177 (3), 165 (4), 135 (2), 127 (5), 115 (3), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{ON}_2\text{S}$: 342.08214, найден - 342.08241. Элементный состав вычислен (в %) для $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{ON}_2\text{S}$: C - 73.66; H - 4.12; N - 8.18, найден, в %: C - 73.65; H - 4.15; N - 8.20.

2-(2-Толлил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4с

Получен из **40** и 2-толил-бороновой кислоты. Выход 76 мг (63%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 208-209°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.03-9.07 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.41 (мм, $^4\text{J}=1.91$, $^5\text{J}=0.63$, 1H, CH_{Ar}), 7.79 (дд, $^3\text{J}=8.37$, $^4\text{J}=2.07$, 1H, CH_{Ar}), 7.72 (дд, $^3\text{J}=8.44$, $^4\text{J}=0.53$, 1H, CH_{Ar}), 7.63-7.66 (м, 1H, CH_{Ar}), 7.42-7.55 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.29-7.34 (м, 4H, CH_{Ar}), 2.33 (с, 3H, CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 161.01 (C_{Ar}), 156.85 (C_{Ar}), 146.23 (C_{Ar}), 140.51 (C_{Ar}), 139.90 (C_{Ar}), 136.38 (C_{Ar}), 136.28 (C_{Ar}), 135.51 (CH_{Ar}), 130.69 (CH_{Ar}), 130.08 (CH_{Ar}), 127.94 (CH_{Ar}), 127.39 (CH_{Ar}), 127.00 (CH_{Ar}), 126.92 (CH_{Ar}), 126.16 (CH_{Ar}), 125.81 (CH_{Ar}), 123.92 (C_{Ar}), 121.97 (CH_{Ar}), 119.47 (CH_{Ar}), 118.52 (C_{Ar}), 20.64 (CH_3). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3116 (сл), 2060 (сл), 1683 (сил), 1612 (сл), 1586 (ср), 1573 (сил), 1471 (ср), 1456 (ср), 1305 (ср), 1260 (ср), 1205 (сл), 1192 (сл), 1120 (сл), 1020 (сл), 934 (сл), 842 (ср), 782 (ср), 749 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 342 (100), 341 (37), 314 (2), 313 (9), 312 (4), 311 (4), 254 (2), 190 (6), 165 (13), 153 (7), 152 (13), 150 (6), 139 (3), 127 (4), 115 (5), 108 (2), 90 (4), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{ON}_2\text{S}$: 342.08214, найден - 342.08132. Элементный состав вычислен (в %) для $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{ON}_2\text{S}$: C - 73.66; H - 4.12; N - 8.18, найден, в %: C - 73.63; H - 4.09; N - 8.17.

2-(3-Толлил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4д

Получен из **3** и 3-толил-бороновой кислоты. Выход 73 мг (70%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 223-225°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.06 (дд, $^3\text{J}=7.98$, $^4\text{J}=1.47$, 1H, CH_{Ar}), 8.65 (д, $^4\text{J}=2.32$, 1H, CH_{Ar}), 8.06 (дд, $^3\text{J}=8.53$, $^4\text{J}=2.29$, 1H, CH_{Ar}), 7.74 (д, $^3\text{J}=8.55$, 1H, CH_{Ar}), 7.64 (дд, $^3\text{J}=7.98$, $^4\text{J}=1.83$, 1H, CH_{Ar}), 7.49-7.55 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.47 (дд, $^3\text{J}=7.56$, $^4\text{J}=1.44$, 1H, CH_{Ar}), 7.38 (т, $^3\text{J}=7.59$, 1H, CH_{Ar}), 7.21 (д, $^3\text{J}=7.35$, 1H, CH_{Ar}), 2.45 (с, 3H, CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 161.01 (C_{Ar}), 156.80 (C_{Ar}), 146.45 (C_{Ar}), 139.53 (C_{Ar}), 138.99 (C_{Ar}), 138.77 (C_{Ar}), 136.21 (C_{Ar}), 133.95 (CH_{Ar}), 128.96 (CH_{Ar}), 128.636 (CH_{Ar}), 128.01 (CH_{Ar}), 126.93 (CH_{Ar}), 126.85 (CH_{Ar}), 126.43 (CH_{Ar}), 124.98 (CH_{Ar}), 124.28 (CH_{Ar}), 123.88 (C_{Ar}), 121.88 (CH_{Ar}), 119.40 (CH_{Ar}), 118.87 (C_{Ar}), 21.57 (CH_3). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3120 (сл), 3021 (сл), 2852 (сл), 1796 (сл), 1680 (сил), 1583 (ср), 1568 (сил), 1544 (сил), 1473 (ср), 1454 (ср), 1337 (сл), 1303 (ср), 1243 (сл), 1133 (сл), 1058 (сл), 966 (сл), 830 (ср), 781 (сил), 750 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 342 (100), 341 (4), 311 (3), 299 (5), 298 (3), 279 (2), 207 (3), 190 (4), 180 (4), 171 (8), 150 (7), 135 (5), 106 (3), 90 (5), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{ON}_2\text{S}$: 342.08214, найден - 342.08176. Элементный состав вычислен (в %) для $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{ON}_2\text{S}$: C - 73.66; H - 4.12; N - 8.18, найден, в %: C - 73.67; H - 4.10; N - 8.19.

2-(3,5-Диметилфенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4е

Получен из **3** и 3,5-диметилфенил-бороновой кислоты. Выход 75 мг (69%), твёрдое белое вещество с т.пл. 258-259°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.05 (дд, $^3\text{J}=7.87$, $^4\text{J}=1.42$, 1H, CH_{Ar}), 8.63 (д, $^4\text{J}=2.07$, 1H, CH_{Ar}), 8.04 (дд, $^3\text{J}=8.50$, $^4\text{J}=2.20$, 1H, CH_{Ar}), 7.72 (д, $^3\text{J}=8.52$, 1H, CH_{Ar}), 7.63 (дд, $^3\text{J}=7.69$, $^4\text{J}=1.48$, 1H, CH_{Ar}), 7.41-7.55 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.34 (с, 2H, CH_{Ar}), 7.04 (с, 1H, CH_{Ar}), 2.41 (с, 6H, 2CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 161.13 (C_{Ar}), 156.81 (C_{Ar}), 146.49 (C_{Ar}), 139.57 (C_{Ar}), 139.18 (C_{Ar}), 138.73 (CH_{Ar}), 136.32 (C_{Ar}), 134.06 (CH_{Ar}), 129.63 (CH_{Ar}), 127.03 (CH_{Ar}), 126.93 (CH_{Ar}), 126.45 (CH_{Ar}), 125.21 (CH_{Ar}), 125.03 (C_{Ar}), 123.99 (C_{Ar}), 121.98 (CH_{Ar}),

119.50 (CH_{Ar}), 118.93 (C_{Ar}), 21.56 (CH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3124 (сл), 3066 (сл), 1685 (сил), 1584 (сил), 1572 (сил), 1546 (сил), 1454 (сил), 1302 (ср), 1241 (ср), 1194 (ср), 1094 (сл), 964 (сл), 848 (ср), 825 (сил), 747 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 356 (100), 355 (3), 341 (3), 327 (2), 312 (3), 190 (2), 178 (6), 162 (6), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения (ESI, M+H)⁺ вычислен для C₂₂H₁₆ON₂S: 357.10561, найден - 357.10568. (ESI, M+Na)⁺ вычислен для C₂₂H₁₆ON₂S: 379.08755, найден - 379.08774. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₂H₁₆ON₂S: C - 74.13; H - 4.52; N - 7.86; найден, в %: C - 74.09; H - 4.53; N - 7.85.

2-(4-Метоксифенил)-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он - 4f

Получен из **3** и 4-метоксифенил-бороновой кислоты. Выход 83 мг (76%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 230-232°C. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.04 (дд, ³J=8.06, ⁴J=1.21, 1H, CH_{Ar}), 8.60 (д, ⁴J=2.05 Hz, 1H, CH_{Ar}), 8.02 (дд, ³J=8.51, ⁴J=2.03, 1H, CH_{Ar}), 7.63-7.73 (м, 4H, CH_{Ar}), 7.42-7.55 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.02 (д, ³J=8.67, 2H, CH_{Ar}), 3.88 (с, 3H, OCH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 161.21 (C_{Ar}), 159.85 (C_{Ar}), 146.26 (C_{Ar}), 138.71 (C_{Ar}), 136.42 (C_{Ar}), 133.75 (CH_{Ar}), 132.27 (C_{Ar}), 130.17 (C_{Ar}), 128.47 (CH_{Ar}), 127.10 (CH_{Ar}), 127.02 (CH_{Ar}), 126.63 (CH_{Ar}), 124.45 (CH_{Ar}), 124.09 (C_{Ar}), 122.08 (CH_{Ar}), 119.59 (CH_{Ar}), 119.10 (C_{Ar}), 114.72 (CH_{Ar}), 55.64 (OCH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3114 (сл), 3063 (сл), 2927 (сл), 1684 (сил), 1609 (ср), 1585 (ср), 1567 (сил), 1545 (ср), 1474 (ср), 1334 (ср), 1242 (ср), 1181 (ср), 1023 (ср), 964 (сл), 862 (сл), 816 (сил), 828 (ср), 749 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 358 (100), 344 (11), 343 (48), 316 (4), 315 (20), 286 (4), 179 (16), 153 (5), 126 (4), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₂₁H₁₄O₂N₂S: 358.07705, найден - 358.07603. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₁H₁₄O₂N₂S: C - 70.37; H - 3.94; N - 7.82, найден, в %: C - 70.41; H - 3.91; N - 7.80.

2-(2-Метоксифенил)-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он - 4g

Получен из **3** и 2-метоксифенил-бороновой кислоты. Выход 80 мг (73%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 219-220°C. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.06 (дд, ³J=7.99, ⁴J=1.15, 1H, CH_{Ar}), 8.59 (д, ⁴J=1.98, 1H, CH_{Ar}), 8.04 (дд, ³J=8.49, ⁴J=2.10, 1H, CH_{Ar}), 7.73 (д, ³J=8.34, 1H, CH_{Ar}), 7.65 (дд, ³J=7.66, ⁴J=1.68, 1H, CH_{Ar}), 7.44- 7.53 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.43 (дд, ³J=7.45, ⁴J=1.68, 1H, CH_{Ar}), 7.38 (д, ³J=7.89, ⁴J=1.74, 1H, CH_{Ar}), 7.09 (дд, ³J=7.51, ⁴J=1.21, 1H, CH_{Ar}), 7.03 (д, ³J=8.28, 1H, CH_{Ar}), 3.86 (с, 3H, OCH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 160.87 (C_{Ar}), 156.99 (C_{Ar}), 156.65 (C_{Ar}), 145.57 (C_{Ar}), 137.01 (CH_{Ar}), 136.86 (C_{Ar}), 136.27 (C_{Ar}), 131.09 (CH_{Ar}), 129.50 (CH_{Ar}), 129.14 (C_{Ar}), 127.75 (CH_{Ar}), 127.12 (CH_{Ar}), 127.02 (CH_{Ar}), 125.09 (CH_{Ar}), 123.97 (C_{Ar}), 122.04 (CH_{Ar}), 121.22 (CH_{Ar}), 119.54 (CH_{Ar}), 118.39 (C_{Ar}), 111.45 (CH_{Ar}), 55.74 (OCH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3339 (сл), 3118 (сл), 3063 (сл), 2921 (сл), 1877 (сл), 1676 (сил), 1584 (сил), 1562 (сил), 1475 (ср), 1453 (ср), 1337 (ср), 1259 (ср), 1206 (ср), 1180 (ср), 1133 (сл), 1091 (сл), 1061 (сл), 910 (ср), 782 (сил), 747 (сил), 654 (ср). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 358 (100), 344 (9), 343 (41), 315 (13), 287 (4), 193 (4), 164 (2), 139 (2), 127 (2), 90 (2), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI, M+H)⁺ вычислен для C₂₁H₁₄O₂N₂S: 359.08487, найден - 359.08446. (ESI, M+Na)⁺ вычислен для C₂₁H₁₄O₂N₂S - 381.06682, найден - 381.06715. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₁H₁₄O₂N₂S: C - 70.37; H - 3.94; N - 7.82; найден, в %: C - 70.39; H - 3.93; N - 7.85.

2-(3-Метоксифенил)-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он - 4h

Получен из **3** и 3-метоксифенил-бороновой кислоты. Выход 74 мг (68%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 204-205°C. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.04-9.07 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.64 (д, ⁴J=2.16, 1H, CH_{Ar}), 8.05 (дд, ³J=8.52, ⁴J=2.22, 1H, CH_{Ar}), 7.77 (д, ³J=8.52, 1H, CH_{Ar}), 7.66 (дд, ³J=7.38, ⁴J=1.68, 1H, CH_{Ar}), 7.43-7.56 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.40 (т, ³J=7.90, 1H, CH_{Ar}), 7.28-7.31 (м, 1H, CH_{Ar}), 7.23 (т, ⁴J=2.20, 1H, CH_{Ar}), 6.92-6.96 (м, 1H, CH_{Ar}), 3.86 (с, 3H, OCH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 160.73 (C_{Ar}),

160.32 (C_{Ar}), 157.30 (C_{Ar}), 145.84 (C_{Ar}), 141.02 (C_{Ar}), 139.05 (C_{Ar}), 136.15 (C_{Ar}), 134.25 (CH_{Ar}), 130.21 (CH_{Ar}), 128.56 (C_{Ar}), 127.21 (CH_{Ar}), 127.14 (CH_{Ar}), 126.04 (CH_{Ar}), 125.26 (CH_{Ar}), 123.94 (C_{Ar}), 122.07 (CH_{Ar}), 119.80 (CH_{Ar}), 119.54 (CH_{Ar}), 113.66 (CH_{Ar}), 112.87 (CH_{Ar}), 55.56 (OCH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3117 (сл), 3072 (сл), 3008 (сл), 2920 (сл), 1802 (сл), 1686 (сил), 1570 (сил), 1547 (сил), 1450 (сп), 1437 (сл), 1345 (сп), 1287 (сп), 1220 (сп), 1166 (сп), 1048 (сп), 1025 (сп), 965 (сл), 827 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 358 (100), 316 (5), 315 (20), 287 (3), 261 (2), 179 (4), 164 (2), 157 (2), 153 (2), 90 (2), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₂₁H₁₄O₂N₂S: 359.08487, найден - 359.085. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₁H₁₄O₂N₂S: C - 70.37; H - 3.94; N - 7.82; найден, в %: C - 70.40; H - 3.91; N - 7.86.

2-(2,6-Диметоксифенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4i

Получен из **3** и 2,6-диметоксифенил-бороновой кислоты. Выход 80 мг (68%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 239-240°C. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.04-9.07 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.46 (д, ⁴J=1.89, 1H, CH_{Ar}), 7.82 (дд, ³J=8.49, ⁴J=2.07, 1H, CH_{Ar}), 7.71 (д, ³J=8.52, 1H, CH_{Ar}), 7.64 (дд, ³J=7.49, ⁴J=1.99, 1H, CH_{Ar}), 7.41-7.53 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.33 (т, ³J=8.38, 1H, CH_{Ar}), 6.69 (д, ³J=8.40, 2H, CH_{Ar}), 3.76 (с, 6H, 2OCH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 161.08 (C_{Ar}), 157.78 (C_{Ar}), 156.67 (C_{Ar}), 145.92 (C_{Ar}), 138.55 (CH_{Ar}), 136.39 (C_{Ar}), 132.40 (C_{Ar}), 129.61 (CH_{Ar}), 129.44 (CH_{Ar}), 126.94 (CH_{Ar}), 126.81 (CH_{Ar}), 125.05 (CH_{Ar}), 123.99 (C_{Ar}), 121.95 (CH_{Ar}), 119.46 (CH_{Ar}), 118.33 (C_{Ar}), 118.06 (C_{Ar}), 104.31 (CH_{Ar}), 56.06 (OCH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3358 (сл), 3114 (сл), 2947 (сл), 2834 (сл), 1904 (сл), 1684 (сил), 1585 (сил), 1570 (сил), 1468 (сп), 1432 (сп), 1305 (сп), 1100 (сп), 1027 (сл), 966 (сл), 907 (сл), 839 (сп), 779 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 388 (100), 373 (11), 358 (20), 343 (2), 342 (7), 330 (6), 301 (2), 248 (3), 194 (3), 140 (2), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HRMS (ESI, M+H)⁺ вычислен для C₂₂H₁₆O₃N₂S: 389.09544, найден - 389.09531. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₂H₁₆O₃N₂S: C - 68.02; H - 4.15; N - 7.21; найден, в %: C - 68.01; H - 4.17; N - 7.19.

2-(3,5-Диметоксифенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4j

Получен из **3** и 3,5-диметоксифенил-бороновой кислоты. Выход 77 мг (65%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 241-242°C. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.05- 9.09 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.65 (д, ⁴J=2.10, 1H, CH_{Ar}), 8.06 (дд, ³J=8.49, ⁴J=2.21, 1H, CH_{Ar}), 7.79 (д, ³J=8.50, 1H, CH_{Ar}), 7.68 (дд, ³J=7.36, ⁴J=2.08, 1H, CH_{Ar}), 7.49-7.56 (м, 2H, CH_{Ar}), 6.84 (д, ⁴J=2.22, 2H, CH_{Ar}), 6.52 (т, ⁴J=2.20, 1H, CH_{Ar}), 3.88 (с, 6H, 2OCH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 161.42 (C_{Ar}), 160.71 (C_{Ar}), 157.35 (C_{Ar}), 145.86 (C_{Ar}), 141.68 (C_{Ar}), 139.13 (C_{Ar}), 136.11 (C_{Ar}), 134.29 (C_{Ar}), 127.22 (CH_{Ar}), 127.16 (CH_{Ar}), 125.97 (CH_{Ar}), 125.27 (CH_{Ar}), 123.92 (CH_{Ar}), 122.08 (CH_{Ar}), 119.52 (CH_{Ar}), 118.68 (CH_{Ar}), 105.52 (CH_{Ar}), 100.16 (C_{Ar}), 55.66 (OCH₃). ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3128 (сл), 3066 (сл), 3005 (сл), 2834 (сл), 1716 (сл), 1686 (сил), 1584 (сил), 1567 (сил), 1496 (сп), 1353 (сп), 1245 (сп), 1222 (сп), 1200 (сил), 1061 (сп), 967 (сл), 927 (сл), 826 (сп), 781 (сп), 753 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 388 (100), 359 (6), 358 (2), 345 (4), 330 (4), 302 (4), 274 (5), 194 (4), 150 (2), 140 (2), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HRMS (ESI, M+H)⁺ вычислен для C₂₂H₁₆O₃N₂S: 389.09544, найден - 389.09518. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₂H₁₆O₃N₂S: C - 68.02; H - 4.15; N - 7.21; найден, в %: C - 68.01; H - 4.13; N - 7.25.

2-(4-Фторфенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4к

Получен из **3** и 4-фторфенил-бороновой кислоты. Выход 58 мг (55%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 228-230°C. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., Гц: 9.04 (дд, ³J=8.12, ³J=1.13, 1H, CH_{Ar}), 8.59 (д, ⁴J=2.07, 1H, CH_{Ar}), 7.99 (дд, ³J=8.47, ⁴J=2.23, 1H, CH_{Ar}), 7.73 (д, ³J=8.49, 1H, CH_{Ar}), 7.63-7.69 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.37-7.55 (м, 3H, CH_{Ar}),

7.17 (т, $^3J=8.65$, 1H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: 162.91 (д, $^1J=247.49$, C-F), 160.94 (C_{Ar}), 157.07 (C_{Ar}), 146.49 (C_{Ar}), 137.90 (C_{Ar}), 136.22 (C_{Ar}), 135.82 (д, $^4J=3.29$, C_{Ar}), 133.78 (CH_{Ar}), 128.91 (д, $^3J=8.14$, CH_{Ar}), 127.03 (CH_{Ar}), 126.65 (д, $^2J=25.53$, CH_{Ar}), 124.94 (CH_{Ar}), 123.93 (C_{Ar}), 121.99 (CH_{Ar}), 119.48 (CH_{Ar}), 118.98 (C_{Ar}), 116.23 (CH_{Ar}), 115.94 (CH_{Ar}). ЯМР ^{19}F ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: -114.65 (с, 1F). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3113 (сл), 3046 (сл), 2961 (сл), 1680 (сил), 1590 (ср), 1573 (ср), 1476 (ср), 1341 (ср), 1220 (ср), 1157 (сл), 1098 (ср), 910 (сл), 855 (сл), 822 (сил), 745 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 346 (100), 318 (8), 317 (10), 259 (2), 184 (7), 173 (12), 158 (10), 157 (8), 133 (4), 107 (2), $[M^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HRMS (ESI, $M+H$)⁺ вычислен для $C_{20}H_{11}FON_2S$: 347.06489, найден - 347.06497. Элементный состав вычислен (в %) для $C_{20}H_{11}FON_2S$: C - 69.35; H - 3.20; N - 8.09; найден, в %: C - 69.40; H - 3.22; N - 8.07.

2-(4-Трифторометилфенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4l

Получен из **3** и 4-трифторометилфенил-бороновой кислоты. Выход 52 мг (43%), твёрдое белое вещество с т.пл. 244-245°C. ЯМР 1H ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: 9.05 (дд, $^3J=8.20$, $^4J=1.25$, 1H, CH_{Ar}), 8.67 (д, $^4J=2.20$, 1H, CH_{Ar}), 8.04 (дд, $^3J=8.50$, $^4J=2.25$, 1H, CH_{Ar}), 7.82 (д, $^3J=8.15$, 2H, CH_{Ar}), 7.74-7.78 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.65 (дд, $^3J=7.75$, $^4J=1.05$, 1H, CH_{Ar}), 7.53 (д, $^3J=7.88$, $^4J=1.56$, 1H, CH_{Ar}), 7.47 (д, $^3J=7.58$, $^4J=1.16$, 1H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: 161.02 (C_{Ar}), 157.78 (C_{Ar}), 147.33 (C_{Ar}), 143.33 (C_{Ar}), 137.42 (C_{Ar}), 136.36 (C_{Ar}), 133.99 (CH_{Ar}), 130.18 (к, $^2J=32.08$, C_{Ar}), 128.64 (C_{Ar}), 127.72 (CH_{Ar}), 127.27 (к, $^3J=5.50$, CH_{Ar}), 127.10 (CH_{Ar}), 126.28 (к, $^4J=3.67$, CH_{Ar}), 125.78 (CH_{Ar}), 124.49 (к, $^1J=272.17$, CF_3), 124.09 (CH_{Ar}), 122.19 (CH_{Ar}), 119.67 (CH_{Ar}), 119.25 (C_{Ar}). ЯМР ^{19}F ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: -62.47 (с, 3F, CF_3). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3114 (сл), 3067 (сл), 1679 (сил), 1612 (сл), 1587 (ср), 1571 (сил), 1545 (ср), 1480 (ср), 1457 (ср), 1328 (сил), 1207 (ср), 1136 (сл), 1116 (сил), 1072 (ср), 966 (сл), 826 (сил), 750 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 396 (100), 367 (5), 299 (2), 298 (3), 234 (3), 208 (2), 188 (4), 174 (3), 164 (5), 139 (4), 108 (3), 90 (7). $[M^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $C_{21}H_{11}F_3ON_2S$: 396.05387, найден - 396.05378. Элементный состав вычислен (в %) для $C_{21}H_{11}F_3ON_2S$: C - 73.66; H - 4.12; N - 8.18; найден, в %: C - 73.64; H - 4.09; N - 8.21.

2-(2-Тиенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4m

Получен из **3** и 2-тиенил-бороновой кислоты. Выход 54 мг (53%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 224-225°C. ЯМР 1H ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: 9.01-9.04 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.61 (д, $^4J=2.28$, 1H, CH_{Ar}), 8.02 (дд, $^3J=8.61$, $^4J=2.25$, 1H, CH_{Ar}), 7.67 (д, $^3J=8.61$, 1H, CH_{Ar}), 7.63 (дд, $^3J=7.53$, $^4J=1.74$, 1H, CH_{Ar}), 7.41-7.54 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.34 (дд, $^3J=5.04$, $^4J=1.11$, 1H, CH_{Ar}), 7.11 (дд, $^3J=5.07$, $^3J=3.63$, 1H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ , м.д., Гц: 160.68 (C_{Ar}), 156.98 (C_{Ar}), 146.17 (C_{Ar}), 142.99 (C_{Ar}), 136.17 (C_{Ar}), 132.74 (CH_{Ar}), 132.44 (C_{Ar}), 128.49 (CH_{Ar}), 127.12 (CH_{Ar}), 127.05 (CH_{Ar}), 126.52 (CH_{Ar}), 125.89 (CH_{Ar}), 124.14 (CH_{Ar}), 123.96 (C_{Ar}), 123.50 (CH_{Ar}), 122.02 (CH_{Ar}), 119.50 (CH_{Ar}), 119.00 (C_{Ar}). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3111 (сл), 3071 (сл), 2921 (сл), 1686 (сил), 1584 (сил), 1568 (ср), 1546 (ср), 1478 (ср), 1461 (сл), 1453 (ср), 1303 (ср), 1201 (ср), 1024 (сл), 964 (ср), 943 (сл), 844 (сл), 821 (ср), 747 (сил), 708 (сил), 651 (ср). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 334 (100), 305 (3), 261 (4), 248 (2), 172 (4), 167 (3), 145 (2), 108 (1), 90 (1), $[M^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HRMS (ESI, $M+H$)⁺ вычислен для $C_{18}H_{10}ON_2S_2$: 335.03073, найден - 335.03061. Элементный состав вычислен (в %) для $C_{18}H_{10}ON_2S_2$: C - 64.65; H - 3.01; N - 8.38; найден, в %: C - 64.61; H - 3.04; N - 8.41.

2-(3-Тиенил)-12H-бензотиазоло[2,3-*b*] хиназолин-12-он - 4n

Получен из **3** и 3-тиенил-бороновой кислоты. Выход 49 мг (48%), твёрдое бледно- жёлтое вещество с т.пл. 227-228°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.04-9.08 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.65 (дд, $^4\text{J}=2.18$, $^5\text{J}=0.49$, 1H, CH_{Ar}), 8.06 (дд, $^3\text{J}=8.62$, $^4\text{J}=2.25$, 1H, CH_{Ar}), 7.61-7.73 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.43-7.56 (м, 4H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 161.01 (C_{Ar}), 152.92 (C_{Ar}), 151.61 (C_{Ar}), 146.48 (C_{Ar}), 140.98 (C_{Ar}), 133.72 (C_{Ar}), 133.39 (CH_{Ar}), 127.07 (CH_{Ar}), 127.00 (CH_{Ar}), 126.96 (CH_{Ar}), 126.66 (CH_{Ar}), 126.32 (CH_{Ar}), 124.19 (CH_{Ar}), 124.00 (C_{Ar}), 122.02 (CH_{Ar}), 121.33 (CH_{Ar}), 119.52 (CH_{Ar}), 119.06 (C_{Ar}). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3097 (сл), 3060 (сл), 2956 (сл), 1678 (сил), 1583 (ср), 1571 (ср), 1550 (ср), 1482 (ср), 1453 (ср), 1363 (сл), 1303 (ср), 1257 (сл), 1198 (сл), 1080 (сл), 1022 (сл), 965 (сл), 845 (ср), 798 (ср), 748 (сил), 650 (ср), 532 (ср). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 334 (100), 306 (4), 305 (5), 261 (4), 167 (3), 145 (3), 128 (2), 108 (2), 102 (1), 90 (2), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{18}\text{H}_{10}\text{ON}_2\text{S}_2$: 334.02291, найден - 334.02268. Элементный состав вычислен (в %) для $\text{C}_{18}\text{H}_{10}\text{ON}_2\text{S}_2$: C - 64.65; H - 3.01; N - 8.38; найден, в %: C - 64.61; H - 3.05; N - 8.41.

2-(1,1'-Бифенил)-4-ил)-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он - 4o

Получен из **3** и 4-бифенил-бороновой кислоты. Выход 53 мг (43%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 228-230°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.06 (д, $^3\text{J}=7.97$, 1H, CH_{Ar}), 8.69 (д, $^4\text{J}=2.04$, 1H, CH_{Ar}), 8.09 (дд, $^3\text{J}=8.24$, $^4\text{J}=2.23$, 1H, CH_{Ar}), 7.62-7.81 (м, 7H, CH_{Ar}), 7.34-7.55 (м, 6H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 161.18 (C_{Ar}), 157.27 (C_{Ar}), 156.56 (C_{Ar}), 146.78 (C_{Ar}), 140.95 (C_{Ar}), 140.73 (C_{Ar}), 138.63 (C_{Ar}), 138.50 (C_{Ar}), 136.44 (C_{Ar}), 133.95 (CH_{Ar}), 129.16 (CH_{Ar}), 128.01 (CH_{Ar}), 127.77 (CH_{Ar}), 127.35 (CH_{Ar}), 127.20 (CH_{Ar}), 127.11 (C_{Ar}), 126.81 (CH_{Ar}), 125.11 (CH_{Ar}), 124.12 (CH_{Ar}), 122.14 (CH_{Ar}), 119.66 (CH_{Ar}), 119.20 (CH_{Ar}). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3111 (сл), 3059 (сл), 2957 (сл), 1692 (сил), 1582 (ср), 1498 (сл), 1472 (ср), 1451 (ср), 1394 (сл), 1305 (ср), 1260 (ср), 1179 (сл), 1087 (сл), 964 (сл), 825 (ср). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 404 (100), 376 (4), 242 (2), 240 (4), 215 (3), 202 (7), 187 (2), 152 (1), 90 (2), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{26}\text{H}_{16}\text{ON}_2\text{S}$: 404.09779, найден - 404.09777. Элементный состав вычислен (в %) для $\text{C}_{26}\text{H}_{16}\text{ON}_2\text{S}$: C - 77.20; H - 3.99; N - 6.93; найден, в %: C - 77.25; H - 3.97; N - 6.95.

2-(2-Формилбензо)-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он - 4p

Получен из **3** и 2-формилбензо-бороновой кислоты. Выход 55 мг (51%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 243-245°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.99 (с, 1H, CHO), 9.01 (д, $^3\text{J}=8.82$, 1H, CH_{Ar}), 8.44 (с, 1H, CH_{Ar}), 8.04 (д, $^3\text{J}=8.47$, 1H, CH_{Ar}), 7.75-7.80 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.62-7.72 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.41-7.56 (м, 4H, CH_{Ar}). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 191.81 (CHO), 160.85 (C_{Ar}), 156.13 (C_{Ar}), 150.48 (C_{Ar}), 148.96 (C_{Ar}), 147.06 (C_{Ar}), 144.04 (C_{Ar}), 136.69 (CH_{Ar}), 135.68 (C_{Ar}), 133.94 (CH_{Ar}), 133.84 (C_{Ar}), 131.22 (CH_{Ar}), 128.50 (CH_{Ar}), 128.44 (CH_{Ar}), 128.34 (CH_{Ar}), 127.15 (CH_{Ar}), 126.26 (CH_{Ar}), 123.88 (CH_{Ar}), 122.04 (CH_{Ar}), 119.53 (CH_{Ar}), 118.70 (C_{Ar}). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3111 (сл), 2922 (сл), 1738 (сл), 1684 (сил), 1585 (сил), 1564 (сил), 1542 (сил), 1469 (ср), 1455 (ср), 1409 (сл), 1338 (сл), 1307 (ср), 1269 (ср), 1191 (сл), 1096 (сл), 1020 (ср), 966 (ср), 846 (ср), 751 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 356 (100), 355 (18), 328 (30), 327 (31), 299 (28), 298 (16), 241 (5), 191 (4), 177 (14), 164 (13), 151 (10), 150 (32), 140 (11), 139 (12), 122 (6), 108 (5), 102 (5), 90 (9), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{21}\text{H}_{12}\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$: 356.06140, найден - 356.06091. Элементный состав вычислен (в %) для $\text{C}_{21}\text{H}_{12}\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$: C - 70.77; H - 3.39; N - 7.86; найден, в %: C - 70.80; H - 3.37; N - 7.83.

2-(2-Этоксикарбонилфенил)-12H-бензотиазоло[2,3-b] хинозолин-12-он - 4q

Получен из **3** и 2-этоксикарбонилфенил-бороновой кислоты. Выход 65 мг (53%), твёрдое белое вещество с т.пл. 199-200°C. ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.03-9.06 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.40 (д, $^4\text{J}=2.40$, 1H, CH_{Ar}), 7.94 (дд, $^3\text{J}=7.61$, $^4\text{J}=1.24$, 1H, CH_{Ar}),

7.42-7.77 (м, 8H, CH_{Ar}), 4.13 (к, ³J=7.10, 2H, CH₂), 1.05 (т, ³J=7.11, 3H, CH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ, м.д., Гц: 168.161 (CO₂Et), 160.89 (C_{Ar}), 157.12 (C_{Ar}), 146.51 (C_{Ar}), 141.40 (C_{Ar}), 139.57 (C_{Ar}), 136.27 (C_{Ar}), 135.86 (CH_{Ar}), 131.66 (CH_{Ar}), 131.14 (CH_{Ar}), 130.94 (C_{Ar}), 130.44 (CH_{Ar}), 127.87 (CH_{Ar}), 127.00 (CH_{Ar}), 126.92 (CH_{Ar}), 126.54 (CH_{Ar}), 125.52 (CH_{Ar}), 123.91 (C_{Ar}), 121.96 (CH_{Ar}), 119.47 (CH_{Ar}), 118.43 (C_{Ar}), 61.18 (OCH₂), 14.00 (CH₃). ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3114 (сл), 3070 (сл), 2928 (сл), 1721 (сил), 1677 (сил), 1585 (ср), 1567 (сил), 1543 (сил), 1473 (ср), 1455 (ср), 1342 (сл), 1303 (сл), 1256 (сил), 1132 (ср), 1081 (ср), 966 (сл), 841 (сл), 757 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 400 (100), 356 (8), 355 (35), 329 (5), 328 (23), 327 (12), 299 (8), 298 (8), 272 (2), 139 (5), 90 (2), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HRMS (ESI, M+H)⁺ вычислен для C₂₃H₁₆O₃N₂S: 401.09544, найден - 401.09603. (ESI, M+Na)⁺ вычислен для C₂₃H₁₆O₃N₂S: 423.07738, найден - 423.07793. Элементный состав вычислен (в %) для C₂₃H₁₆O₃N₂S: C - 68.98; H - 4.03; N - 7.00, найден, в %: C - 68.95; H - 4.08; N - 6.97.

2-Метил-12H-бензотиазоло[2,3-b] хиназолин-12-он - 4r

Получен из **3** и 2-метил-бороновой кислоты. Выход 49 мг (61%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 200-202°С. ЯМР ¹H (CDCl₃), δ, м.д., Гц: 9.01-9.05 (м, 1H, CH_{Ar}), 8.21-8.22 (м, 1H, CH_{Ar}), 7.58-7.63 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.42-7.50 (м, 2H, CH_{Ar}), 2.52 (с, 3H, CH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ, м.д., Гц: 161.03 (C_{Ar}), 156.14 (C_{Ar}), 145.46 (C_{Ar}), 136.59 (CH_{Ar}), 136.59 (CH_{Ar}), 136.35 (C_{Ar}), 136.186 (C_{Ar}), 126.81 (CH_{Ar}), 126.60 (CH_{Ar}), 125.88 (CH_{Ar}), 123.96 (C_{Ar}), 121.92 (CH_{Ar}), 119.44 (CH_{Ar}), 118.51 (C_{Ar}), 21.46 (CH₃). ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3126 (сл), 3063 (сл), 3016 (сл), 1686 (сил), 1584 (ср), 1572 (м), 1552 (сил), 1484 (ср), 1454 (ср), 1381 (сл), 1303 (ср), 1250 (ср), 1197 (ср), 1024 (ср), 965 (ср), 828 (сил), 754 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 266 (100), 265 (37), 237 (25), 210 (2), 178 (2), 152 (1), 134 (8), 133 (4), 121 (3), 116 (2), 107 (5), 90 (9), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₁₅H₁₀ON₂S: 266.05084, найден - 266.05041. Элементный состав вычислен (в %) для C₁₅H₁₀ON₂S: C - 67.65; H - 3.78; N - 10.52, найден, в %: C - 67.67; H - 3.81; N - 10.55.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heravi, M. M. Advances in Kumada-Tamao-Corriu cross-coupling reaction: an update / M. M. Heravi, V. Zadsirjan, P. Hajiabbasi, H. Hamidi // *Monatsh. Chem.* – 2019. – Vol. 150. – Pp. 535–591.
2. Heravi, M. M. Recent advances in Kumada-Tamao-Corriu cross-coupling reaction catalyzed by different ligands / M. M. Heravi, P. Hajiabbasi // *Monatsh. Chem.* – 2012. – Vol. 143. – Pp. 1575-1592.
3. Lia, W. N. Kumada-Tamao-Corriu cross-coupling reaction of O-based electrophiles with Grignard reagents via C-O bond activation / W. N. Lia, Z. Li Wang // *RSC Adv.* – 2013. – Vol. 3. – Pp. 25565-25575.
4. Thomas, A. A. Structural, Kinetic, and Computational Characterization of the Elusive Arylpalladium(II)boronate Complexes in the Suzuki-Miyaura Reaction / A. A. Thomas, H. Wang, A. F. Zahrt, S. E. Denmark // *J. Am. Chem. Soc.* -2017. - Vol. 139. - Pp. 3805-3821.
5. Neely, J. M. Insight into Transmetalation Enables Cobalt-Catalyzed Suzuki-Miyaura Cross Coupling / J. M. Neely, M. J. Bezdek, P. J. Chirik // *ACS Cent. Sci.* – 2016. - Vol. 2. – Pp. 935-942.
6. Lennox, A. J. J. Selection of boron reagents for Suzuki-Miyaura coupling / A. J. J. Lennox, G. C. Lloyd-Jones // *Chem. Soc. Rev.* - 2014. - Vol. 43. - Pp. 412-443.
7. Sizhe, L. Stereospecific Synthesis of Glycoside Mimics Through Migita-Kosugi-Stille Cross-Coupling Reactions of Chemically and Configurationally Stable 1-C-Tributylstannyl Iminosugars / L. Sizhe, J. Jaszczuk, X. Pannecoucke, Th. Poisson, O. R. Martin, C. Nicolas // *Advanced.* - 2021. - Vol. 363. – Is. 2. - Pp. 470-483.
8. Campos, J. F. Eucalyptol as bio-based solvent for Migita-Kosugi-Stille coupling reaction on O, S, N-heterocycle / J. F. Campos, S. Berteina-Raboin // *Catalysis Today.* - 2020. - Vol. 358. - Pp. 138-142.
9. Izgu, E. C. O-(Trialkylstannyl) anilines and their utility in Migita-Kosugi-Stille cross-coupling: Direct introduction of the 2-aminophenyl substituent / E. C. Izgu, T. R. Hoye // *Tetrahedron Lett.* – 2012. - Vol. 53. - Pp. 4938-4941.
10. Sarah, B. P. Development of a General Method for the Hiyama-Denmark Cross-Coupling of Tetrasubstituted Vinyl Silanes / B. P. Sarah, M. C. Allyssa, M. O. Humair, A. W. Donald // *ACS Catal.* - 2022. - Vol. 12. - № 20. - Pp. 13108-13115.

11. Rida, N. Transition Metal Catalyzed Hiyama Cross-Coupling: Recent Methodology Developments and Synthetic Applications / N. Rida, A. F. Zahoor, M. Irfan, S. M. Hussain, S. Ahmad, A. Irfan, K. Kotwica-Mojzych, M. Mojzych // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27. – Pp. 5654.
12. Rivas, A. Bidirectional Hiyama–Denmark Cross-Coupling Reactions of Bissilyldeca-1,3,5,7,9-pentaenes for the Synthesis of Symmetrical and Non-Symmetrical Carotenoids / A. Rivas, P. R. Víctor, P. Rosana Alvarez, Angel R. de Lera // *Chem. Eur. J.* - 2019. - Vol. 25. - Is. 63. - Pp. 14399-14407.
13. Haas, D. Recent Developments in Negishi Cross-Coupling Reactions / D. Haas, M. Jeffrey, R. Greiner, P. Knochel // *ACS Catal.* – 2016. - Vol. 6. - № 3. - Pp. 1540-1552.
14. Huo, Sh. Negishi coupling in the synthesis of advanced electronic, optical, electrochemical, and magnetic materials / Sh. Huo, R. Mroza, J. Carrola // *Org. Chem.* - 2015. – Vol. 2 (4). – Pp. 416-445.
15. Dachwitz, S. Negishi Cross-Coupling Provides Alkylated Tryptophans and Tryptophan Regioisomers / S. Dachwitz, B. Scharkowski, N. Sewald // *Chem. Eur. J.* - 2021. - Vol. 27. – Is. 72. – Pp. 18043-18046.
16. Suzuki, A. Cross-coupling reactions of organoboranes: an easy way to construct C-C bonds (Nobel Lecture). *Angew / A. Suzuki // Chem. Int. Ed.* - 2011. – Vol. 50. – Pp. 6722-6737.
17. Kitching, M. O. Palladium-catalyzed cross-coupling: a historical contextual perspective to the 2010 Nobel Prize / M. O. Kitching, T. J. Colacot, V. Snieckus // *Angew. Chem. Int. Ed.* - 2012. – Vol. 51. – P. 5062-5085.
18. Astruc, D. The 2010 Chemistry Nobel Prize to R.F. Heck, E. Negishi, and A. Suzuki for palladium-catalyzed cross-coupling reactions / D. Astruc // *Anal Bioanal Chem.* – 2011. – Vol. 399 (5). - Pp. 1811-1814.
19. Selepe, M. A. Application of the Suzuki-Miyaura Reaction in the Synthesis of Flavonoids / M. A. Selepe, F. R. V. Heerden // *Molecules*. – 2013. - Apr. 18 (4). - Pp. 4739-4765.
20. D'Alterio, M. C. Mechanistic Aspects of the Palladium-Catalyzed Suzuki-Miyaura Cross-Coupling Reaction / M. C. D'Alterio, È. Casals-Cruañas, N. V. Tzouras, G. T. Nolan, A. Poater // *Chem. Eur. J.* – 2021. - Vol. 27. - Is. 54. - Pp. 13481-13493.
21. Koshvandi, T. K. Current Applications of Suzuki-Miyaura Coupling Reaction in The Total Synthesis of Natural Products / T. K. Koshvandi, T. Momeni // *An update. Appl. Org. Chem.* - 2018. - Vol. 32 (3). - Pp. 1-10.
22. Mukai, Sh. Catalyst Recycling in the Suzuki Coupling Reaction: Toward a Greener Synthesis in the Pharmaceutical Industry / Sh. Mukai, Y. Yamada // *Know.* - 2023. – Vol. 3. – Pp. 1-17.
23. Sain, Sh. Application of Palladium-Catalyzed Cross-Coupling Reactions in Organic Synthesis / Sh. Sain, S. Jain, M. Srivastava, R. Vishwakarma // *Current Organ. Synt.* – 2019. – Vol. 16. – Is. 8. – P. 1105-1142.
24. Jafari, B. Synthesis of 2-Aryl-12H-benzothiazolo[2,3-b]quinazolin-12-ones and Their Activity Against Monoamine Oxidases / B. Jafari, S. Jalil, S. Zaib, J. Iqbal, S. Safarov, M. Khalikova, M. Isobaev, A. Munshi, Q. Rahman, M. Ospanov, N. Yelibayeva, N. Kelzhanova, Zharylkasyn A. Abilov, L. Mirgu, Z. Turmukhanova, S. N. Kalugin, P. Ehlers, P. Langer // *Chem. Sel.* – 2019. – Vol. 4. – Pp. 11071-11076.
25. Амрохонов, А.С. Синтез 3-фторо-8-аминозамещенных-2-метил-бензо[4,5][1,3]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-онов по Бухвальду-Хартвигу / А.С. Амрохонов, М. Дж. Халикова, С. Халикова, Ш.П. Самихов, С.Ш. Сафаров // *Вестник ТНУ. Серия Естественных Наук* – 2023. – № 1. – С. 276-288

REFERENCES

1. Heravi, M. M. Advances in Kumada-Tamao-Corriu cross-coupling reaction: an update / M. M. Heravi, V. Zadsirjan, P. Hajiabbasi, H. Hamidi // *Monatsh. Chem.* – 2019. – Vol. 150. – Pp. 535–591.
2. Heravi, M. M. Recent advances in Kumada-Tamao-Corriu cross-coupling reaction catalyzed by different ligands / M. M. Heravi, P. Hajiabbasi // *Monatsh. Chem.* - 2012. - Vol. 143. – Pp. 1575-1592.
3. Lia, W. N. Kumada-Tamao-Corriu cross-coupling reaction of O-based electrophiles with Grignard reagents via C-O bond activation / W. N. Lia, Z. Li Wang // *RSC Adv.* – 2013. - Vol. 3. - Pp. 25565-25575.
4. Thomas, A. A. Structural, Kinetic, and Computational Characterization of the Elusive Arylpalladium(II)boronate Complexes in the Suzuki-Miyaura Reaction / A. A. Thomas, H. Wang, A. F. Zahrt, S. E. Denmark // *J. Am. Chem. Soc.* -2017. - Vol. 139. - Pp. 3805-3821.
5. Neely, J. M. Insight into Transmetalation Enables Cobalt-Catalyzed Suzuki-Miyaura Cross Coupling / J. M. Neely, M. J. Bezdek, P. J. Chirik // *ACS Cent. Sci.* – 2016. - Vol. 2. – Pp. 935-942.
6. Lennox, A. J. J. Selection of boron reagents for Suzuki-Miyaura coupling / A. J. J. Lennox, G. C. Lloyd-Jones // *Chem. Soc. Rev.* - 2014. - Vol. 43. - Pp. 412-443.
7. Sizhe, L. Stereospecific Synthesis of Glycoside Mimics Through Migita-Kosugi-Stille Cross-Coupling Reactions of Chemically and Configurationally Stable 1-C-Tributylstannyl Iminosugars / L. Sizhe, J. Jaszczyk, X. Pannecoucke, Th. Poisson, O. R. Martin, C. Nicolas // *Advanced.* - 2021. - Vol. 363. – Is. 2. - Pp. 470-483.

8. Campos, J. F. Eucalyptol as bio-based solvent for Migita–Kosugi–Stille coupling reaction on O, S, N-heterocycle / J. F. Campos, S. Berteina-Raboin // *Catalysis Today*. - 2020. - Vol. 358. - Pp. 138-142.
9. Izgu, E. C. O-(Trialkylstannyl) anilines and their utility in Migita-Kosugi-Stille cross-coupling: Direct introduction of the 2-aminophenyl substituent / E. C. Izgu, T. R. Hoye // *Tetrahedron Lett.* - 2012. - Vol. 53. - Pp. 4938-4941.
10. Sarah, B. P. Development of a General Method for the Hiyama–Denmark Cross-Coupling of Tetrasubstituted Vinyl Silanes / B. P. Sarah, M. C. Allyssa, M. O. Humair, A. W. Donald // *ACS Catal.* - 2022. - Vol. 12. - № 20. - Pp. 13108-13115.
11. Rida, N. Transition Metal Catalyzed Hiyama Cross-Coupling: Recent Methodology Developments and Synthetic Applications / N. Rida, A. F. Zahoor, M. Irfan, S. M. Hussain, S. Ahmad, A. Irfan, K. Kotwica-Mojzych, M. Mojzych // *Molecules*. - 2022. - Vol. 27. - Pp. 5654.
12. Rivas, A. Bidirectional Hiyama–Denmark Cross-Coupling Reactions of Bissilyldeca-1,3,5,7,9-pentaenes for the Synthesis of Symmetrical and Non-Symmetrical Carotenoids / A. Rivas, P. R. Víctor, P. Rosana Alvarez, Angel R. de Lera // *Chem. Eur. J.* - 2019. - Vol. 25. - Is. 63. - Pp. 14399-14407.
13. Haas, D. Recent Developments in Negishi Cross-Coupling Reactions / D. Haas, M. Jeffrey, R. Greiner, P. Knochel // *ACS Catal.* - 2016. - Vol. 6. - № 3. - Pp. 1540-1552.
14. Huo, Sh. Negishi coupling in the synthesis of advanced electronic, optical, electrochemical, and magnetic materials / Sh. Huo, R. Mroza, J. Carroll // *Org. Chem.* - 2015. - Vol. 2 (4). - Pp. 416-445.
15. Dachwitz, S. Negishi Cross-Coupling Provides Alkylated Tryptophans and Tryptophan Regioisomers / S. Dachwitz, B. Scharkowski, N. Sewald // *Chem. Eur. J.* - 2021. - Vol. 27. - Is. 72. - Pp. 18043-18046.
16. Suzuki, A. Cross-coupling reactions of organoboranes: an easy way to construct C-C bonds (Nobel Lecture). *Angew / A. Suzuki // Chem. Int. Ed.* - 2011. - Vol. 50. - Pp. 6722-6737.
17. Kitching, M. O. Palladium-catalyzed cross-coupling: a historical contextual perspective to the 2010 Nobel Prize / M. O. Kitching, T. J. Colacot, V. Snieckus // *Angew. Chem. Int. Ed.* - 2012. - Vol. 51. - Pp. 5062-5085.
18. Astruc, D. The 2010 Chemistry Nobel Prize to R.F. Heck, E. Negishi, and A. Suzuki for palladium-catalyzed cross-coupling reactions / D. Astruc // *Anal Bioanal Chem.* - 2011. - Vol. 399 (5). - Pp. 1811-1814.
19. Selepe, M. A. Application of the Suzuki-Miyaura Reaction in the Synthesis of Flavonoids / M. A. Selepe, F. R. V. Heerden // *Molecules*. - 2013. - Apr. 18 (4). - Pp. 4739-4765.
20. D'Alterio M. C. Mechanistic Aspects of the Palladium-Catalyzed Suzuki-Miyaura Cross-Coupling Reaction / M. C. D'Alterio, È. Casals-Cruañas, N. V. Tzouras, G. T. Nolan, A. Poater // *Chem. Eur. J.* - 2021. - Vol. 27. - Is. 54. - Pp. 13481-13493.
21. Koshvandi, T. K. Current Applications of Suzuki-Miyaura Coupling Reaction in The Total Synthesis of Natural Products / T. K. Koshvandi, T. Momeni // *An update. Appl. Org. Chem.* - 2018. - Vol. 32 (3). - Pp. 1-10.
22. Mukai, Sh. Catalyst Recycling in the Suzuki Coupling Reaction: Toward a Greener Synthesis in the Pharmaceutical Industry / Sh. Mukai, Y. Yamada // *Know.* - 2023. - Vol. 3. - Pp. 1-17.
23. Sain, Sh. Application of Palladium-Catalyzed Cross-Coupling Reactions in Organic Synthesis / Sh. Sain, S. Jain, M. Srivastava, R. Vishwakarma // *Current Organ. Synt.* - 2019. - Vol. 16. - Is. 8. - Pp. 1105-1142.
24. Jafari, B. Synthesis of 2-Aryl-12H-benzothiazolo[2,3-b]quinazolin-12-ones and Their Activity Against Monoamine Oxidases / B. Jafari, S. Jalil, S. Zaib, J. Iqbal, S. Safarov, M. Khalikova, M. Isobaev, A. Munshi, Q. Rahman, M. Ospanov, N. Yelibayeva, N. Kelzhanova, Zharylkasyn A. Abilov, L. Mirgu, Z. Turmukhanova, S. N. Kalugin, P. Ehlers, P. Langer // *Chem. Sel.* - 2019. - Vol. 4. - Pp. 11071-11076.
25. Amrokhonov, A. S. Synthesis of 3-fluoro-8-amino-substituted-2-methyl-benzo [4,5] [1,3] thiazolo[3,2-a] pyrimidin-4-one according to Buchwald-Hartwig/ A.S. Amrokhonov, M.D. Khalikova, S. Khalikova, Sh. R. Samikhov, S.Sh. Safarov // *Bulletin of the TNU. Series of natural sciences* - 2023. - No. 1. - C. 276-288.

СИНТЕЗИ 2-АРИЛ-ИВАЗШУДАИ-12Н- БЕНЗОТИАЗОЛО [3,2-В] ХИНАЗОЛИН-12-ОНҲО БО РЕАКСИЯИ СУСУКИ-МИЯУРА

Реаксияи байниҳампайвандии бо палладий катализшудаи Сузуки-Мияура як татбиқи муҳим ва васеъ дар миқёси академӣ ва саноатӣ дар байни ҳама реаксияҳои байниҳампайвандии палладий катализшуда мебошад. Мо синтези ҳосилаҳои нави 2-арил ивазшудаи-12Н-бензотиазоло[3,2- в]хиназолин-12-онҳоро аз 2-бромо-12Н-бензотиазоло[3,2- в]хиназолин-12-он ва кислотаҳои арилборони мувофиқро дар шароити реаксияҳои байниҳампайвандии Сузуки-Мияура бо катализшудаи палладий нишон додем. Ҳангоми оптимизатсияи шароити реаксия барои тайёр кардани 2-фенил-12Н-бензотиазоло[3,2-в] хиназолин-12-он, мо дарёфтдем, ки беҳтарин ҳолати каталитикӣ ҳамчун катализатор истифода бурдани Pd(PPh₃)₄ 4 мол% мебошад. Дар ҳузури 8 мол% лиганд XPhos ва асос Na₂CO₃ 2,4 мол% ва ҳалкунанда диоксан: об (4:1), дар 100°C ва 16 соат

мебошад. Ба кор бурдани ин шартҳо имконият дод, ки ҳосили 85 фоиз ба даст оварда шавад. Омӯзиши татбиқи шароити реаксияи коркардшуда бо иштироки дигар кислотаҳои арилборонӣ нишон дод, ки ҳама маҳсулоти мақсаднокро бо ҳосили муътадил ва хуб гирифта мумкин аст. Дар ин замина, кислотаҳои арилборонӣ, ки ҷойгузинҳои электрондиҳанда ва электронқабулқунандадоранд, боиси пайдоиши маҳсулоти байниҳамдигарӣ бо ҳосили муътадил ва хуб гардиданд. Илова бар ин, 2- ва 3-тиенил ва ҳатто кислотаи метилборон дар ин реаксия бомуваффақият истифода шудааст, ки ҳосили миёна ва хуби маҳсулоти байниҳамдигариро таъмин мекунад. Ҳангоми ба реаксия дохил кардани кислотаҳои арилборонӣ дорои ҷонишини *орто*-, *мета*- ва *пара*-ҳолат, таъсири онҳо ночиз шуд.

Калимаҳои калидӣ: реаксияи байниҳамдигарӣ, Сузуки-Мияури, 2-арил ивазшаванда-12Н-бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-онҳо, кислотаҳои арилборонӣ, 2-бром-12Н-бензотиазоло[3,2-*b*] хинозоле -12-он оптимизатсия, лигандҳо, катализаторҳои палладий.

СИНТЕЗ 2-АРИЛЗАМЕШЌЕННЫХ-12Н- БЕНЗОТИАЗОЛО[3,2-В] ХИНАЗОЛИН-12-ОНОВ ПО РЕАКЦИИ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ-МИЯУРЫ

Палладием катализируемая реакция кросс-сочетания Сузуки-Мияуры является важной и распространённой по применимости в академическом и в промышленном масштабе среди всех палладием катализируемых реакций кросс-сочетаний. Мы продемонстрировали синтез новых производных 2-арилзамещённых-12Н- бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-онов исходя из 2-бром-12Н-бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-она и соответствующих арилбороновых кислот в условиях палладием катализируемых реакций кросс-сочетания Сузуки-Мияуры. Во время оптимизации условий реакции для получения 2-фенил-12Н- бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-она мы определили, что лучшим каталитическим условием является применение Pd(PPh₃)₄ 4 моль%, как катализатора, в присутствии 8 моль% лиганда XPhos, основания Na₂CO₃ 2.4 моль% и растворителя диоксан:вода (4:1), при 100°C в течение 16 часов. Применение этих условий позволило получить выход целевого продукта 85%. Изучение применимости разработанных условий реакции с участием других арилбороновых кислот показало, что все целевые продукты можно получить с умеренным и хорошим выходом. В этом контексте арилбороновые кислоты, имеющие электронно-донорные и электронно-акцепторные заместители, привели к образованию продуктов кросс-сочетаний с умеренным и хорошим выходом. Как дополнение, были успешно использованы в этой реакции 2- и 3-тиенил- и даже метилбороновая кислота, обеспечивая средний и хороший выход продуктов кросс-сочетания. При введении в реакцию *орто*-, *мета*- и *пара*-замещённых арилбороновых кислот их влияние оказалось незначительным.

Ключевые слова: реакция кросс-сочетания, Сузуки-Мияуры, 2-арилзамещённые-12Н-бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-оны, арилбороновые кислоты, 2-бром-12Н- бензотиазоло[3,2-*b*] хиназолин-12-он, оптимизация, лиганды, палладиевые катализаторы.

SYNTHESIS OF 2-ARYL-SUBSTITUTE-12H- BENZOTHIAZOLO[3,2-B] QUINAZOLIN-12-ONES BY THE SUZUKI-MIYAUURA CROSS-COUPPLING REACTION

Palladium-catalyzed Suzuki-Miyaura cross-coupling is an important and widespread applicability on an academic and industrial scale among all palladium-catalyzed cross-coupling reactions. We have demonstrated the synthesis of new derivatives of 2-aryl-substituted-12H-benzothiazolo[3,2-*b*] quinazolin-12-ones starting from 2-bromo-12H-benzothiazolo[3,2-*b*] quinazolin-12-one and the corresponding arylboronic acids under conditions of palladium-catalyzed Suzuki-Miyaura cross-coupling reactions. While optimizing the reaction conditions for the preparation of 2-phenyl-12H-benzothiazolo[3,2-*b*] quinazolin-12-one, we found that the best catalytic condition is to use Pd(PPh₃)₄ 4 mol% as a catalyst in the presence of 8 mol% of XPhos ligand and base Na₂CO₃ 2.4 mol% and solvent dioxin: water (4:1), at 100°C for 16 hours. The application of these conditions made it possible to obtain a yield of the target product of 85%. The study of the applicability of the developed reaction conditions, with the participation of other arylboronic acids, showed that all the target products can be obtained with a moderate and good yield. In this context, arylboronic acids having electron-donating and electron-withdrawing substituents led to the formation of cross-coupling products in moderate to good yields. As an addition, 2- and 3-thienyl- and even methylboronic acid have been successfully used in this reaction, providing a medium to good yield of cross-coupling products. When *ortho*-, *meta*-, and *para*-substituted arylboronic acids were introduced into the reaction, their influence turned out to be insignificant.

Keywords: Suzuki-Miyaura, cross-coupling reactions, 2-aryl-substituted-12H-benzothiazolo[3,2-*b*] quinazolin-12-ones, arylboronic acids, 2-bromo-12H-benzothiazolo[3,2-*b*] quinazolin-12-one optimization, ligands, palladium catalysts.

Маълумот дар бораи муаллиф: Карамбахшов Хошим Зоиршоевич – Институти химия ба номи В.И. Никитин, ходими илмии озмоишгоҳи ғанигардонии маъдан. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 933-34-46-91. **E-mail:** hoshim.9191@mail.ru.

Халикова Саодатхон – Институти химия ба номи В.И. Никитин, номзади илмҳои химия, ходими пешбари илмии озмоишгоҳи пайвастагиҳои калонмолекула. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе,

Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Айни, 299/2. **Телефон:** (+992) 937-01-44-77. **E-mail:** dkhalikov@rambler.ru.

Бехзод Ҷафари – Институти химияи органикии университети Росток, Германия, Докторанти Ph.D. **Суроға:** 18059, Росток, ул. Алберт-Эйнштейн- За. **Телефон:** +49(0)381-498-64-10. **E-mail:** behzadjafari961@gmail.com

Петер Лангер – Институти химияи органикии Университети Росток, профессор, директор. **Суроға:** 18059, Росток, Германия, к. Алберт-Эйнштейн - За. **Телефон:** +49(0)381-498-64-10. **E-mail:** peter.langer@uni-rostock.de

Сафаров Сайфидин Шаҳобидинович – Институти кимиёи ба номи В.И. Никитин доктори илмҳои химия, мудири озмоишгоҳи ғанигардонии маъдан. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Айни, 299/2. **Тел.:** (+992) 900022442. **E-mail:** cafi@mail.ru

Сведения об авторах: Карамбахшов Хошим Зоиршоевич – Институти химии им. В.И.Никитина, научный сотрудник лаборатории обогащения руд. **Адрес:** 734063, г. Душанбе Республика Таджикистан, ул. Айни, 299/2. **Тел.:** (+992) 933344691. **E-mail:** hoshim.9191@mail.ru

Халикова Саодатхон – Институти химии им. В.И. Никитина, кандидат химии ведущий научный сотрудник лаборатории высокомолекулярных соединений. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ул. Айни, 299/2. **Тел.:** (+992) 934884830. **E-mail:** dkhalikov@rambler.ru

Бехзод Ҷафари – Институт органической химии университета Росток, Германия, докторант Ph.D. **Адрес:** 18059, Rostock, Albert-Einstein-Strassen, За. **Тел.:** +49(0)381/498-6410. **E-mail:** behzadjafari961@gmail.com

Петер Лангер – Институти органической химии университета Росток, Германия профессор., директор. **Адрес:** 18059 Rostock, Albert-Einstein-Strassen, За. **Тел.:** +49(0)381/498-6410. **E-mail:** peter.langer@uni-rostock.de

Сафаров Сайфидин Шаҳобидинович – Институти химии имени. В.И. Никитина, доктор химических наук., завидущий лабораторией обогащения руд. **Адрес:** 734063, г. Душанбе Республика Таджикистан, ул. Айни, 299/2. **Тел.:** (+992) 900022442. **E-mail:** cafi@mail.ru

Information about the authors: Karambakhshov Hoshim Zoirshoevich – Institute of Chemistry named after V.I. Nikitina, Senior Researcher, laboratory of enrichment of ores. **Address:** 734063, Dushanbe, Tajikistan, 299/2 Aini St. **Phone:** (+992) 933344691. **E-mail:** hoshim.9191@mail.ru

Khalikova Saodatkhon – Institute of Chemistry named after V.I. Nikitina, Dr. (Ph.D), Senior Researcher, laboratory of high-molecular compounds. **Address:** 734063, Dushanbe, Tajikistan, 299/2 Aini St. **Phone:** (+992) 934884830. **E-mail:** dkhalikov@rambler.ru.

Jafari Behzad – Institute of Organic Chemistry, University of Rostock, Ph.D -student. **Address:** 18059 Rostock, Germany, Albert-Einstein-Strassen, За. **Phone:** +49(0)381/498-6410. **E-mail:** behzadjafari961@gmail.com

Peter Langer – Institute of Organic Chemistry, University of Rostock, Director. Prof. **Address:** 18059, Rostock, Germany, Albert-Einstein-Street, За. **Phone:** +49(0)381/498-6410. **E-mail:** peter.langer@uni-rostock.de

Safarov Sayfidin Shahobidinovich – Institute of Chemistry named after V.I. Nikitina, Dr. (Ph. D), Head of laboratory of enrichment of ores **Address:** 299/2 Aini St., Dushanbe, 734063, Tajikistan. **Phone:** (+992) 900022442. **E-mail:** cafi@mail.ru

УДК: 615.038

ИК – СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ АМПИЦИЛЛИНА И АТТЕНОЛОЛА

Гадоев С.Ш, Курбонова Ф.Ш., Шеров К.М.

Таджикский национальный университет

Лекарственные препараты – особый товар. Основное его отличие от любого другого товара состоит в том, что потребитель самостоятельно не может определить качество той или иной таблетки, мази, содержимого ампулы и т.д., за исключением отдельных случаев явного несоответствия.

На современном этапе развития фармацевтической промышленности, для которой характерно расширение ассортимента лекарственных препаратов и повышение требования к их качеству, возникает необходимость в применении различных физико–химических исследований.

Для установления качественных и количественных характеристик лекарства в специализированных лабораториях широко применяют такие фармакопейные методы:

- Физические и физико-химические, которые помогают определить температуру плавления и затвердевания, плотность, состав и чистоту, найти содержание примесей тяжелых металлов.
- Химические, определяющие наличие летучих веществ, воды, азота, растворимость лекарственного вещества, его кислотное, йодное число и т. д.
- Биологические, позволяющие испытать препарат на стерильность, микробную чистоту, содержание токсинов.

Методы анализа лекарственных средств позволяют установить подлинность заявленного производителем состава и определять малейшие отклонения от норм и технологии производства.

На научно-исследовательском этапе поиска и изучения фармакологически активных соединений, где для получения достоверной информации от методик требуется высокая чувствительность и специфичность, используются элементный микроанализ, ЯМР-спектроскопия, ИК- и УФ-спектрометрия, масс-спектрометрия, методы разделения, в частности хроматографические, микробиологические, ферментативные и другие методы. Так, авторы работы [2, с.189-193] разработали методику определения магния с эриохромом чёрным Т в составе лекарственного препарата Магния сульфат. **Разумеется, используются также классические методы аналитической химии (титриметрические и др.)** [1, с.43-51].

Селективные методы идентифицируют анализируемое соединение как единое целое, являются более информативными и надежными, но при проведении единичных анализов требуют больших материальных затрат. Неселективные методы основаны на идентификации отдельных ионов и функциональных групп молекул, обуславливающих фармакологическую активность лекарственного средства, не требуют использования дорогостоящего уникального оборудования, поэтому получили более широкое распространение в фармацевтическом анализе.

Распространенным прямым селективным методом идентификации лекарственного средства является метод спектрометрии в инфракрасной области. Метод основан на пропускании ИК-излучения через исследуемую среду и регистрации спектра поглощения или пропускания образца. В результате взаимодействия ИК-излучения с веществом происходит изменение частот колебания атомов в молекуле вещества, каждая атомная группировка имеет свою индивидуальную характеристическую частоту, которая способна поглощать селективно. Метод позволяет обнаруживать малейшие изменения в структуре образца. Поэтому метод ИК

– спектроскопии молекул является одним из широко применяемых методов определения качества лекарственных препаратов.

В настоящее время подробно изучены ИК – спектры почти всех химических соединений. Метод имеет возможности исследования растворов, порошков, суспензий, эмульсий, мазей, экстрактов, пленок из небольшой навески (1-2 мг).

В современных ИК спектрометрах с преобразованием Фурье имеется каталог ИК – спектров важнейших лекарственных препаратов, отвечающие требованиям международных стандартов. Это позволяет регистрировать спектр образца и сравнивать его со спектрами стандартных образцов за короткое время.

Наличие определенных функциональных групп в составе молекул веществ в лекарственном препарате фиксируют по поглощению в средней области в интервале от 4000 до 650 см^{-1} [3, интернет ресурс]. Например, полосы в области 3251-3217 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям связи N-H замещенной аминогруппы; карбонильная группа идентифицируется полосой в области 1750-1706 см^{-1} ; колебания связей C-Ar-H регистрируют в области 1227-741 см^{-1} [4, с.289-290; 5, с.52-58; 6, с.49-53].

Подтверждение подлинности методом спектрометрии в ИК – области проводят путем сравнения полученного спектра с представленным рисунком или со снятым в тех же условиях ИК – спектром стандартного образца (в некоторых случаях может потребоваться дополнительная пробоподготовка – отделение действующего вещества от вспомогательных веществ или выделение основной части молекулы). Стандартный образец должен быть фармакопейного качества или стандартизирован как первичный [7, с.40-43]. Сравнение с рисунком ИК – спектра имеет ряд недостатков, так как не всегда наблюдается подлинное соответствие полос поглощения из-за разной чувствительности приборов и отличий в условиях пробоподготовки и получения ИК – спектра [8, с.71-76].

Разновидностью метода спектрометрии в ИК-области является метод Рамановской спектрометрии. Рамановский спектр или спектр комбинационного рассеяния (КР) возникает при облучении вещества монохроматическим лазерным излучением ультрафиолетового, видимого или ближней ИК – области. При этом молекулы вещества поляризуются и рассеивают свет в интервале от 2 до 4000 см^{-1} [3, интернет ресурс].

Спектры КР очень чувствительны к природе химических связей как в органических молекулах и полимерных материалах, так и в кристаллических решетках и кластерах, что обуславливает индивидуальность спектра конкретного вещества [3, интернет ресурс]. По этой причине каждое определяемое вещество, каждый материал обладают своим собственным, индивидуальным КР – спектром, который является для него аналогом «отпечатка пальцев» [9, интернет ресурс].

Преимуществом данного метода является возможность бесконтактного анализа твердых, жидких и газообразных веществ в стеклянной и пластиковой упаковке [3, интернет ресурс], что позволяет проводить качественный анализ, не разрушая и не изменяя структуру анализируемого образца, исключая риск контаминации [9, интернет ресурс].

Метод ИК – спектроскопии позволяет установить структуру лекарственного вещества, на основании чего можно подтвердить подлинность исследуемого препарата или сделать заключение о его фальсификации [10, с. 49-56].

Таблетирование, как достаточно сильное механическое воздействие, также может повлиять на кристаллическую структуру препарата, что может привести к разупорядочению структуры с образованием аморфной фазы [11, с.51-55].

В работе [12, с.34-40] нами приведены данные об исследовании ИК – спектров лекарственных препаратов, снятых в области 4000-400 см^{-1} . Проведена интерпретация

групповых реагентов, входящих в состав лекарственного средства, а также сопоставление со стандартным спектром лекарственного средства.

Цель работы – использование метода инфракрасной спектроскопии в анализе лекарственных средств различного класса фармакологического действия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве методов исследования были выбраны простые качественные реакции и ИК - спектроскопия в области $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$.

Для анализа исследуемых лекарственных препаратов использовали метод получения спектров поглощения в средней ИК – области с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра марки IRAffinity-1 фирмы SHUMADZU (производства Японии). Прибор снабжен компьютером и работает на основе специальной компьютерной программы. В качестве инертного наполнителя был использован кристаллический, спектрально чистый порошок КВг. Для растирания порошка была использована агатовая ступка вычищенная ватой смоченной в этиловом спирте. Далее в ступку вводили 1-2 мг анализируемого образца лекарственного средства к нему добавляли 20-30 мг бромида калия. Смесь тщательно перемешивали растиранием и вводили в алюминиевую кювету, диаметр щели которой равна ~ 5 мм. Кювету с образцом прессовали ручным прессом и таким образом мы получали исследуемый образец в виде таблетки. Вначале регистрировали спектр фона - таблетка, которая была изготовлена из чистого КВг. Спектры поглощения фона и исследуемых образцов регистрировали в интервале волновых чисел $4000-500 \text{ см}^{-1}$, при числе сканов 10. Для анализа были взяты лекарственные средства ампициллин и атеналол. Расшифровку ИК – спектров взятых для анализа проводили с помощью данных приведенных в работах [13, с.55; 14, с.250-289; 15, с.193-196].

Анализ лекарственного препарата ампициллина

Для ампициллина, были выделены полосы поглощения четырех наиболее характерных функциональных групп: карбонила β -лактамного кольца, карбоксила при тиазолидиновом кольце, первая и вторая полосы амидной связи бокового радикала.

На рисунке 1 приведена структурная формула исследуемого образца лекарственного препарата ампициллина.

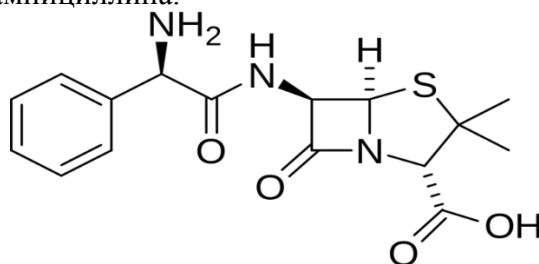


Рисунок 1. Структурная формула ампициллина
Figure 1. Structural formula of ampicillin

Как видно из графической формулы ампициллина в его составе существуют несколько атомных группировок и функциональных групп: C-S, C-C, C=C, -NH₂, C=O, C-N, =CH, O-H, -CH₃ и другие. Колебания каждой группы атомов в молекуле ампициллина образуют полосы поглощения при определенных волновых числах.

Положение карбонила β -лактамного кольца не постоянно; это может быть связано со строением данных антибиотиков. Для данного образца характерно наличие диагностических частот поглощения в интервале от 1774 до 1768 см^{-1} , что свидетельствует об их групповой принадлежности.

Для карбоксильной группы характерны полосы поглощения, вызванные валентными колебаниями OH-группы, в интервале $3442 - 3409 \text{ см}^{-1}$; колебания карбонильной группы в ароматических карбоновых кислотах, $1687 - 1675 \text{ см}^{-1}$, для

ампициллин натриевой соли – валентные колебания, характерные для солей кислот, при 1612 см^{-1} .

В области карбонильного поглощения амиды имеют две полосы поглощения, так называемые «Амид I» и «Амид II». Первая из них находится в интервале $1690 - 1630\text{ см}^{-1}$. Эта полоса обусловлена сложным колебанием, в котором, кроме карбонильной группы, принимают участие связь C – N и углы C–C–O и C–N–C. Вторая амидная полоса связана с деформационными колебаниями N–H. Она расположена в области $1550 - 1510\text{ см}^{-1}$ для вторичных амидов. Вследствие ассоциации частота второй амидной полосы смещалась на $25 - 26\text{ см}^{-1}$.

На рисунках 2 и 3 приведены ИК – спектры поглощения анализируемого образца ампициллина и его стандартного образца. При изучении инфракрасного спектра поглощения были получены следующие результаты: по таблицам инфракрасных спектров различных компонентов выявлено, что валентные колебания связи C-S, проявляющиеся при $710-570\text{ см}^{-1}$ в спектре анализируемого образца проявляются при $590,22\text{ см}^{-1}$. Пик при $1458,18\text{ см}^{-1}$, относящийся к валентным колебаниям атомов H-C-H и проявляющийся в интервале волновых чисел $1470-14030\text{ см}^{-1}$ и пики при $1608,63\text{ см}^{-1}$, $1573,91\text{ см}^{-1}$ отнесены к колебаниям связи C-C, проявляющихся в интервале $1625-1575\text{ см}^{-1}$ в котором наблюдалось незначительное смещение полос. Пик при $1776,44\text{ см}^{-1}$ отнесен к деформационным колебаниям связи C=C, проявляющийся в интервале $1780-1610\text{ см}^{-1}$. Деформационные колебания -NH₂ – группы проявляются в виде двух полос с пиками при $1608,63\text{ см}^{-1}$ и $1573,91\text{ см}^{-1}$, полоса при $1776,44$ к валентным колебаниям связи C=O, проявляющийся $1790-6-1650\text{ см}^{-1}$. Валентным колебаниям связи C-N, проявляющиеся в интервале $1400-1000\text{ см}^{-1}$ в ИК спектре ампициллина проявляются в виде четырех полос при $1373,32\text{ см}^{-1}$, $1334,74\text{ см}^{-1}$, $1307,74\text{ см}^{-1}$, $1263,37\text{ см}^{-1}$, валентные колебания связи =CH, проявляющиеся в интервале $3040-3010\text{ см}^{-1}$ – при $3404,36\text{ см}^{-1}$. Валентные колебания O-H – группы, проявляющиеся в интервале $3040-3010\text{ см}^{-1}$, и ИК спектре лекарственного препарата ампициллин проявляются при $3404,36\text{ см}^{-1}$.

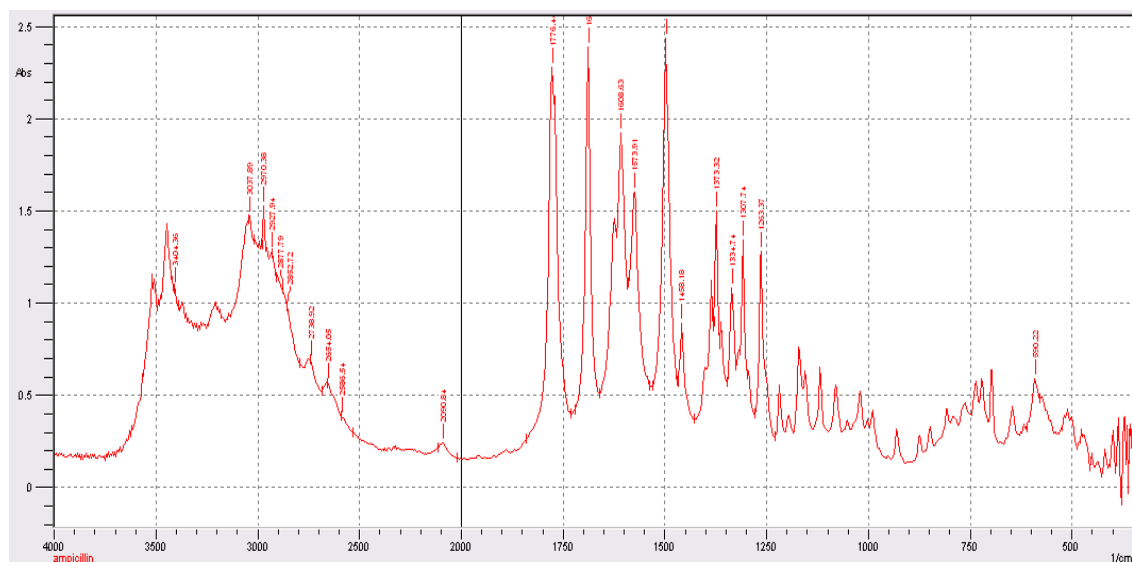


Рисунок 2. Спектр инфракрасного поглощения лекарственного средства ампициллина

Figure 2. Infrared absorption spectrum of the drug ampicillin

Для определения подлинности лекарственного средства мы сопоставляли спектр исследуемого образца ампициллина со стандартным спектром лекарственного препарата путем их наложения друг на друга (рис.4).

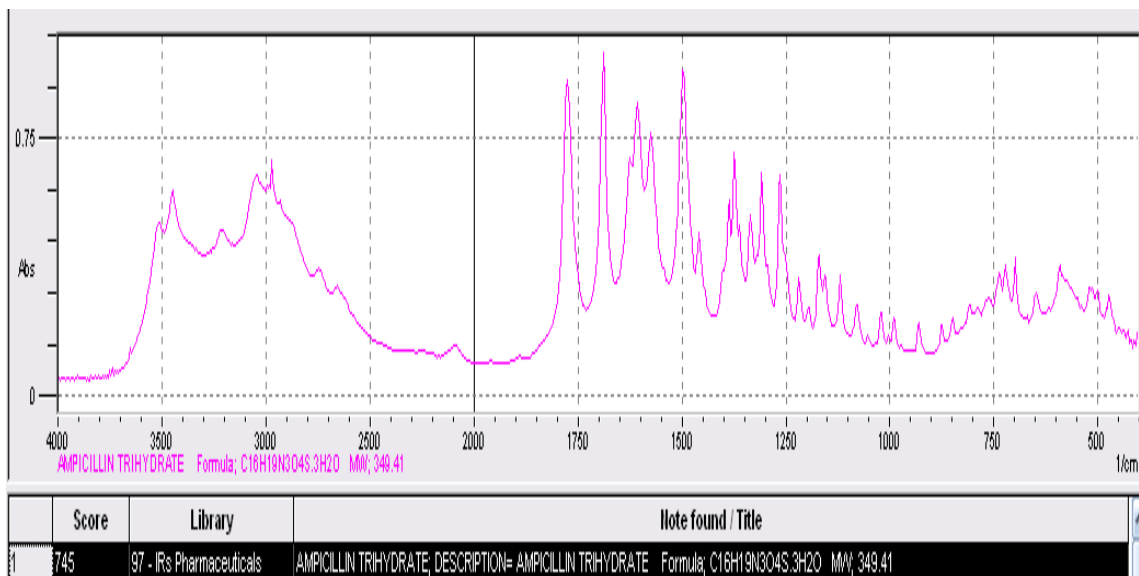


Рисунок 3. Инфракрасный спектр поглощения стандартного образца ампициллина

Figure 3. Infrared absorption spectrum of a standard sample of ampicillin

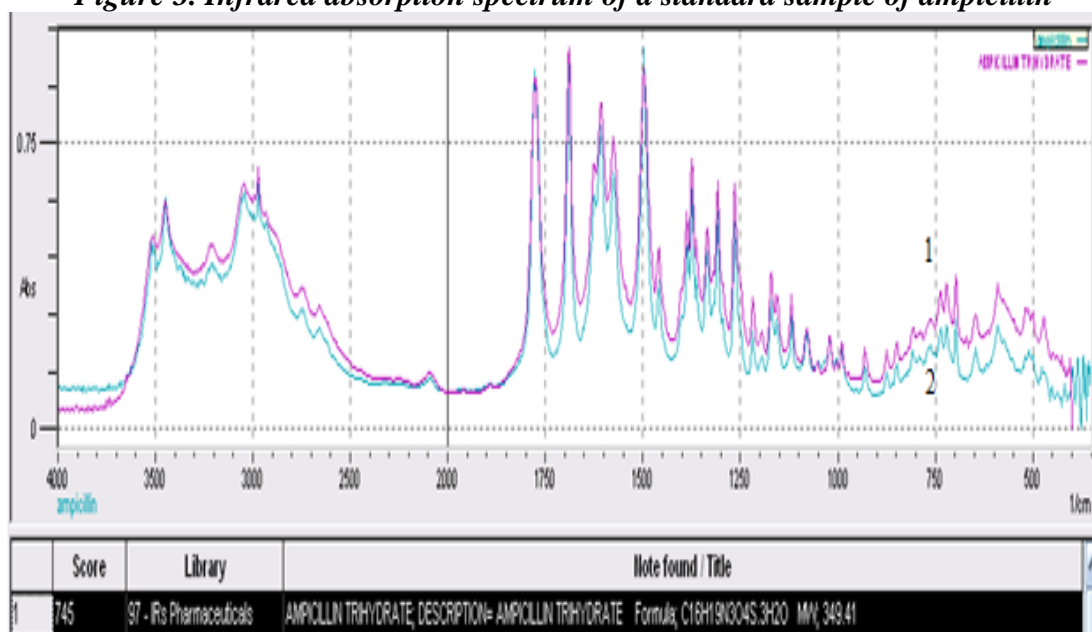


Рисунок 4. Сопоставление исследуемого образца ампициллина со стандартным спектром лекарственного вещества

1. ИК –спектр анализируемого лекарственного препарата ампициллина

2. ИК – спектр стандартного образца лекарственного препарата ампициллина

Figure 4. Comparison of the test sample of ampicillin with the standard spectrum of the medicinal substance

1. IR spectrum of the analyzed drug ampicillin

2. IR - spectrum of a standard sample of the drug ampicillin

Как видно из данных рисунка 4 во всем интервале спектра исследуемое лекарственное вещество и его стандартный образец соответствуют друг другу, что свидетельствует о подлинности лекарственного препарата ампициллина.

Анализ лекарственного препарата Атенолола

На рисунке 5 приведена структурная формула атенолола.

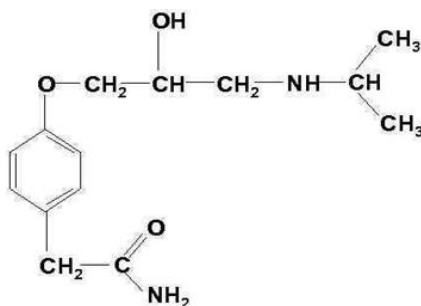


Рисунок 5. Структурная формула атенолола

Figure 5. Structural formula of atenolol

Как видно из графической формулы атенолола в его составе имеются следующие функциональные группы: О-Н , NH , NH₂ , C-O , C-O-C и другие.

На рисунке 6 приведен ИК спектр анализируемого лекарственного препарата атенолола.

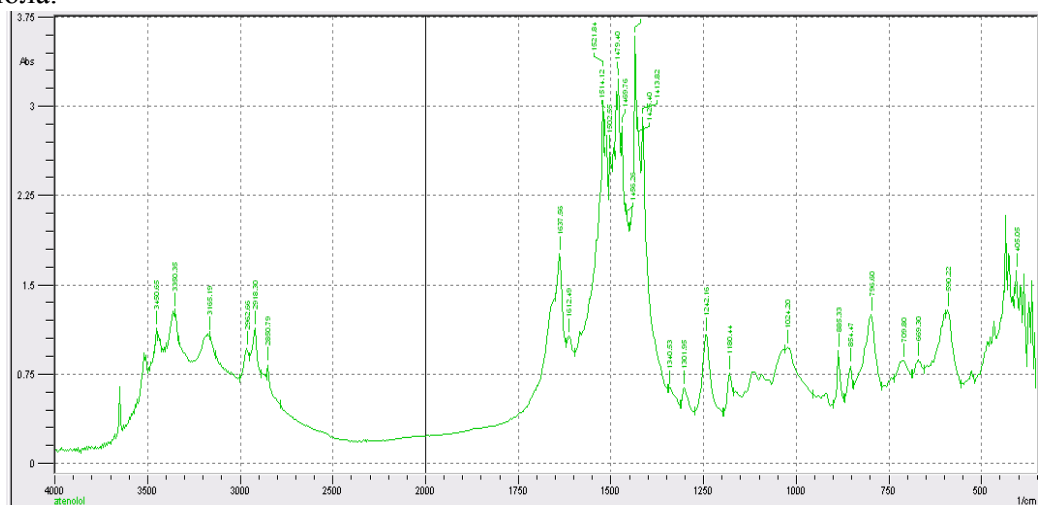


Рисунок 6. Инфракрасный спектр анализируемого лекарственного препарата атенолола

Figure 6. Infrared spectrum of the analyzed drug atenolol

При расшифровке ИК спектра лекарственного препарата атенолола мы получили следующие результаты: связь между атомами О-Н в области 3650-3200 см⁻¹ претерпевает валентное колебание и проявляется при 3450,65 см⁻¹, 3350,35 см⁻¹. Пик полосы при 3350,35 см⁻¹ относящаяся к валентным колебаниям -NH- группы соответствует интервалу волновых чисел равных 3450-3300см⁻¹. Пики полос при 3450,65 см⁻¹, 3350,35 см⁻¹ соответствуют валентным колебаниям -NH₂ – группы, которая находится в интервале 3500-3300 см⁻¹. -NH₂ – группа также претерпевает деформационное колебание, которое соответствует интервалу волновых чисел равных 1650-1590 см⁻¹ и проявляется при 1637,56 см⁻¹, 1612,49 см⁻¹. Полосы при 1340,53 см⁻¹ , 1301,95 см⁻¹ , 1242,16 см⁻¹ отнесены валентным колебаниям связи C–N, которым соответствует интервал длин волн 1400-1000 см⁻¹. Пики полос при 796,60 см⁻¹ и 709,80 см⁻¹ отнесены деформационным колебаниям –NH- группы, которой соответствует интервал волновых чисел равных 850-700 см⁻¹.

На рисунке 7 приведен ИК – спектр стандартного образца лекарственного препарата атенолола.

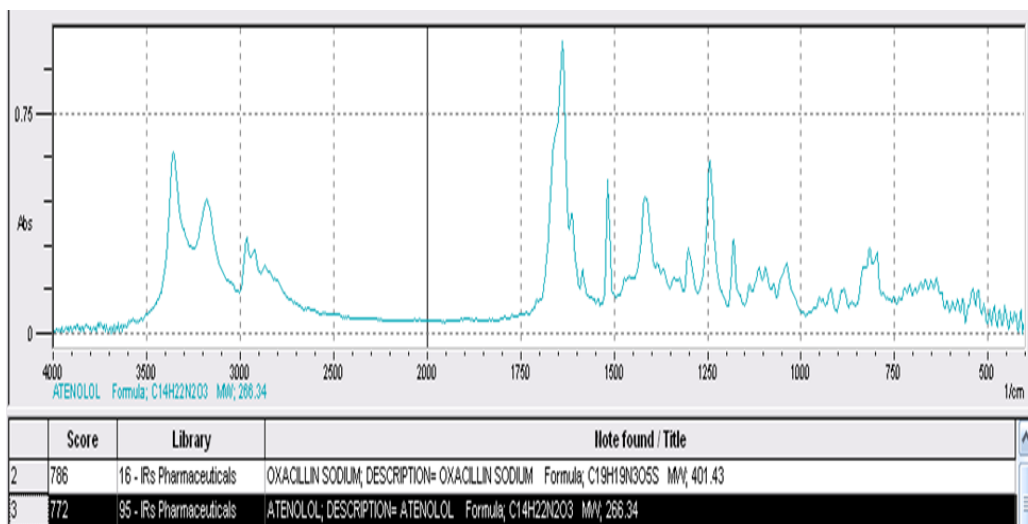


Рисунок 7. ИК – спектр стандартного образца лекарственного препарата атенолола

Figure 7. IR - spectrum of a standard sample of the drug atenolol

Проведено сопоставление инфракрасного спектра анализируемого лекарственного препарата атенолола с его стандартным веществом.

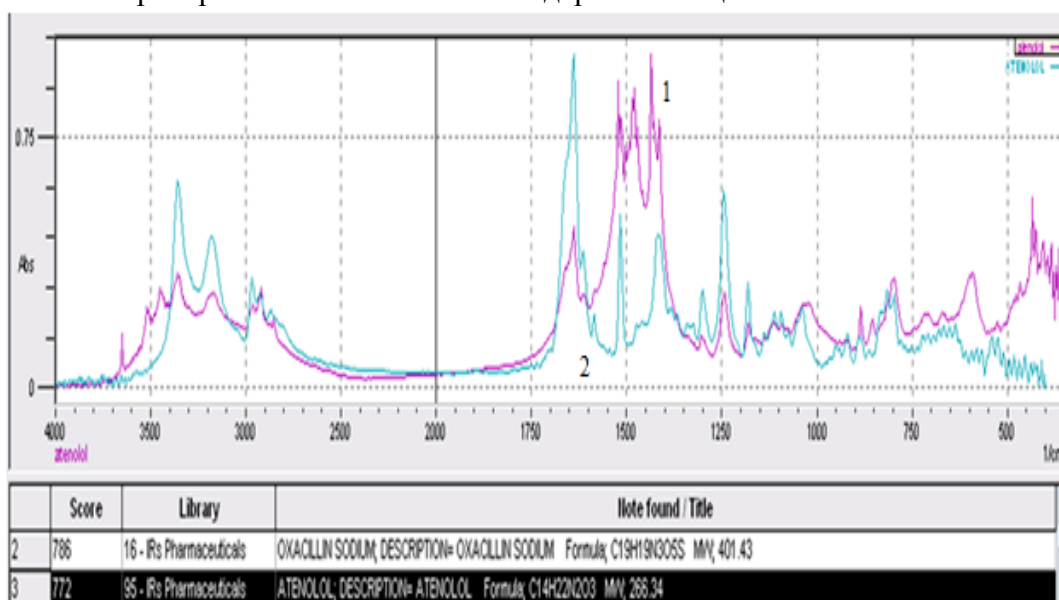


Рисунок 8. Сопоставление инфракрасного спектра поглощения лекарственного препарата атенолола со спектром его стандартного образца

1.ИК – спектр анализируемого образца атенолола

2.ИК – спектр стандартного образца лекарственного препарата атенолола

Figure 8. Comparison of the infrared absorption spectrum of the drug atenolol with the spectrum of its standard sample

1.IR - spectrum of the analyzed sample of attenolol

2.IR - spectrum of a standard sample of the drug attenolol

При сопоставлении было выявлено, что спектр поглощения анализируемого атенолола имеет некоторые различия от спектра стандартного вещества. Это экспериментальный факт доказывает о несоответствии лекарственного препарата с его стандартом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтерев, Е.В. Анализ лекарственных средств в исследованиях, производстве и контроле качества / Дегтерев, Е.В. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), т. XLVI, № 4. 2002. – С. 43-51.
2. Курбонова, Ф.Ш. Спектрофотометрическое определение магния с эрихоромом черным Т / Ф.Ш. Курбонова, С.Ш. Гадов, Қ.М.Шеров // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2019. №1. – С.189-193.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII изд. Т.1-3. – М.; 2015. Available from: <http://femb.ru/feml>.
4. Жирикова, Е.Ю. ИК – спектроскопическое исследование препарата «диклофенак» различных производителей. / Е.Ю.Жирикова, Е.А.Кунавина // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. 10(185). – С. 289-290.
5. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. / Э.Преч, Ф.Бюльманн, К.Афгольтер // – М.: Мир, 2012.
6. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. // – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.
7. Меркулов, В.А. Фармакопейные стандартные образцы и практика их применения в отечественной системе стандартизации лекарственных средств / В.А. Меркулов, Е.И. Саканян, Р.А. Волкова, В.И. Климов, Т.Б. Цемерянкина, В.А. Яшкир // Химико-фармацевтический журнал. 2016. 50(4). – С. 40-43.
8. Лутцева, А.И. Методологические подходы к выбору методов установления подлинности лекарственных средств / А.И.Лутцева, Т.Н.Боковикова, В.А.Яшкир, Л.А.Стронова, Н.Е. Кузьмина, М.В. Агапкина, Л.И. Панова, Е.Н.Попова, Н.В.Гадасина, Л.Н.Буланова, В.И. Прокофьева // Вестник НЦЭСМП. Том 7, №2. – С.71-76.
9. Рамановская спектроскопия. Available from: <https://goo.gl/bXAiol>.
10. Баранова, Н.В. Применение метода инфракрасной спектроскопии в анализе лекарственных средств / Н.В. Баранова, М.А. Феофанова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2011. – №12. – С.49-56.
11. Алеева, Г. Н. Роль вспомогательных веществ в обеспечении фармацевтических и терапевтических свойств лекарственных препаратов (обзор). / Алеева Г. Н., Журавлева М. В., Хафизьянова Р. Х. // Химико – фармацевтический журнал. – 2009. - № 4. – С. 51–55.
12. Гадов, С.Ш. Таҳлили маводи доруворӣ бо усули спектроскопияи инфрасурх / С.Ш.Гадов, Ф.Ш.Курбонова, К.М. Шеров // Материалы республиканской конференции на тему: «Роль современных методов анализа в развитие науки и производства». – Душанбе, 2022. –С.34-40.
13. Тарасевич, Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений/Тарасевич Б.Н.//– Химический факультет. –М. 2012. – 55 с.
14. Васильева, В.И. Спектральные методы анализа. Практическое руководство. / В.И. Васильева, О.Ф. Стоянова, И.В. Шкутина, С.И.Карпов и др. //–М., 2014. – 416 с.
15. Кельнер, Р. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. / Р. Кельнер, Ж.-М. Мерме, М. Отто, Г.М. Видмер //–Т. 2. – С.193-196.

REFERENCES

1. Degterev, E.V. Analysis of drugs in research, production and quality control / Degterev, E.V. // - Ros. chem. and. (Journal of Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev). –V. XLVI, No. 4. – 2002. – Pp. 43-51.
2. Kurbonova, F.Sh. Spectrophotometric determination of magnesium with black erichorum T / F.Sh. Kurbonova, S.Sh. Gadoev, K.M. Sherov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. 2019. No. 1. – Pp.189-193.
3. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIII ed. T.1-3. – M., 2015. Available from: <http://femb.ru/feml>.
4. Zhirikova, E.Yu. IR – spectroscopic study of the drug “diclofenac” from various manufacturers. / E.Yu. Zhirikova, E.A. Kunavina // Bulletin of Orenburg State University. – 2015 №10(185). – Pp.289-290.
5. Prech, E. Determination of the structure of organic compounds. Spectral data tables. / E. Prech, F. Bühlmann, K. Affolter // –M., 2012.
6. Silverstein R. Spectrometric identification of organic compounds / Silverstein R., Webster F., Kiml D. // –M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2012.
7. Merkulov, V.A. Pharmacopoeial standard samples and the practice of their use in the domestic system of drug standardization / V.A. Merkulov, E.I. Sakanyan, R.A. Volkova, V.I. Klimov, T.B. Tsemeryankina, V.A. Yashkir // Chemical and pharmaceutical journal. 2016. 50(4). – Pp. 40-43.
8. Lutseva, A.I. Methodological approaches to the selection of methods for establishing the authenticity of medicines/ A.I. Lutseva, T.N. Bokovikova, V.A. Yashkir, L.A. Stronova, N.E. Kuzmina,

M.V. Agapkina, L.I. Panova, E.N. Popova, N.V. Gadasina, L.N. Bulanova, V.I. Prokofieva // - Gazette of NTsESMP. – V. 7. No. 2. – Pp. 71-76.

9. Raman spectroscopy. Available from: <https://goo.gl/bXAiol>.

10. Baranova, N.V. Application of the infrared spectroscopy method in the analysis of drugs / N.V. Baranova, M.A. Feofanova//Bulletin of Tver State University. Series: Chemistry. – 2011. – No.12. – Pp.49-56.

11. Aleeva, G. N. The role of excipients in ensuring the pharmaceutical and therapeutic properties of drugs (review). / Aleeva G. N., Zhuravleva M. V., Khafizyanova R. Kh. // Chemical - pharmaceutical journal. – 2009. - No. 4. – Pp.51–55.

12. Gadoev, S.Sh. Tahlili mavodi doruvori bo usuli spectroscopy and infrasurkh / S.Sh.Gadoev, F.Sh.Kurbonova, K.M. Sherov // Materials of the republican conference on the topic: “The role of modern methods of analysis in the development of science and production”. – Dushanbe, 2022. – Pp.34-40.

13. Tarasevich, B.N. IR spectra of the main classes of organic compounds / Tarasevich B.N. // – M., 2012. – 55 p.

14. Vasilyeva, V.I. Spectral methods of analysis. Practical guide. / IN AND. Vasilyeva, O.F. Stoyanova, I.V. Shkutina, S.I. Karpov and others // –M., 2014. – 416 p.

15. Kellner, R. Analytical chemistry. Problems and approaches. / R. Kellner, J.-M. Merme, M. Otto, G.M. Widmer //– V. 2. – Pp.193-196.

ТАҲҚИҚИ СПЕКТРОСКОПИИ ИНФРАСУРҲИ МАВОДҲОИ ДОРУВОРИИ АМПИТСИЛЛИН ВА АТТЕНОЛОЛ

Дар робита ба васеъ шудани доираи моддаҳои доруворӣ дар бозори муосири фарматсевтӣ талабот ба сифати онҳо зиёд шуда, зарурати истифодаи усулҳои гуногуни тадқиқоти физикӣ ва кимиёвӣ ба миён меояд. Дар кори мазкур дар асоси таҳлили муқоисавии спектрҳои инфрасурхи доруҳои амписиллин ва аттенолол мавҷудияти доруҳо дар намунаҳои таҳқиқшуда муқаррар карда шуда, оид ба сифати онҳо хулоса бароварда шудааст. Мутобиқи ҳадафи кор имкони истифодаи усули спектроскопии ИС барои муайян кардани доруҳо ва ошкор кардани доруҳои қалбақӣ нишон дода шуд. Асил будани маводҳои доруӣ тавассути усули спектрометрия дар ҳудуди инфрасурхи спектр бо роҳи муқоисаи спектри бадастомадаи намунаи таҳлилшуда бо расми пешниҳодшуда ё бо спектри ИС-и намунаи стандартӣ, ки дар ҳамаи шароити спектрометри Фуре IRAffinity-1 ширкати SHUMADZU (истехсоли Чопон) гирифта шудааст, тасдиқ карда шуд, ки он дар хотираи барномаи асбоб ҷойгир аст. Дар асоси таҳлили муқоисавии спектрҳои инфрасурхи амписиллин ва аттенолол имкони истифодаи усули спектроскопияи инфрасурх барои муайян кардани антибиотикҳо ва доруҳои дилу раг, инчунин, ошкор намудани доруҳои қалбақӣ нишон дода шудааст. Барои ба даст овардани натиҷаҳои дурусти яхела, усули исканча намудани лавҳаҳои бромиди калий ҳангоми омӯзиши спектрҳои азхудкунии инфрасурхшудаи доруҳо танҳо барои намунаҳои тавсия додан мумкин аст, ки дар шароити таҷрибавӣ дар ҳолати устувори аморфӣ ё кристаллӣ қарор доранд.

Калидвожаҳо: доруворӣ, спектроскопияи ИС, ҳабкунӣ, амписиллин, аттенолол, Фуре, спектрометр, ошкоркунӣ

ИК – СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ АМПИЦИЛЛИНА И АТТЕНОЛОЛА

Проведен литературный обзор по изучению методов установления качественных и количественных характеристик лекарства в специализированных лабораториях. Выявлено, что для определения подлинности лекарственных препаратов широко применяют следующие фармакопейные методы: физические и физико-химические, которые помогают определить температуру плавления и затвердевания, плотность, состав и чистоту, найти содержание примесей тяжелых металлов; химические, определяющие наличие летучих веществ, воды, азота, растворимость лекарственного вещества, его кислотное, йодное число и т. д., а также биологические, позволяющие испытать препарат на стерильность, микробную чистоту, содержание токсинов. На основании сравнительного анализа ИК спектров лекарственных препаратов ампициллина и аттенолола было установлено присутствие препаратов в исследуемых образцах, сделано заключение об их подлинности. Была показана возможность применения метода ИК – спектроскопии для идентификации лекарственных средств и выявления фальсифицированных препаратов. Подтверждение подлинности методом спектрометрии в ИК области проводили путем сравнения полученного спектра анализируемого образца с представленным рисунком или со снятым в тех же условиях ИК – спектром стандартного образца находящегося в памяти программы прибора Фурие-спектрометра марки IRAffinity-1 фирмы SHUMADZU (производства Японии). На основании сравнительного анализа ИК – спектров ампициллина и аттенолола показана возможность применения метода ИК – спектроскопии для идентификации антибиотиков и сердечно-сосудистых препаратов, а также выявления фальсифицированных препаратов. Для получения правильных однозначных результатов метод прессования таблеток с бромидом калия при изучении инфракрасных спектров поглощения лекарственных препаратов можно

рекомендовать только для образцов, которые в условиях эксперимента находятся в устойчивом аморфном или кристаллическом состоянии.

Ключевые слова: лекарственный препарат, ИК спектроскопия, таблетирование, ампициллин, атенолол, Фурье, спектрометр, идентификация

IR - SPECTROSCOPIC INVESTIGATION OF DRUGS AMPICILLIN AND ATTENOLOL

In connection with the expansion of the range of medicinal substances in the modern pharmaceutical market, the requirements for their quality are increasing, and there is a need to use various physical and chemical research methods. In this work, based on a comparative analysis of the IR drugs of ampicillin and atenolol, the presence of drugs in the studied samples was established, and a conclusion was made about their authenticity. In accordance with the purpose of the work, the possibility of using the IR spectroscopy method for the identification of medicines and the detection of counterfeit drugs was shown. Authenticity was confirmed by spectrometry in the IR region by comparing the obtained spectrum of the analyzed sample with the presented figure or with the IR spectrum of the standard sample taken under the same conditions of the Fourier spectrometer IRAffinity-1 brand SHUMADZU (made in Japan) located in the program memory of the instrument. Based on a comparative analysis of the IR spectra of ampicillin and atenolol, the possibility of using the IR spectroscopy method for identifying antibiotics and cardiovascular drugs, as well as detecting counterfeit drugs, has been shown. To obtain correct unambiguous results, the method of pressing tablets with potassium bromide in the study of infrared absorption spectra of drugs can be recommended only for samples that are in a stable amorphous or crystalline state under experimental conditions.

Keywords: drug, IR - spectroscopy, tableting, ampicillin, atenolol, Fourier, spectrometer, identification.

Маълумот дар бораи муаллифон: Гадовев Сухроб Шокирович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ассистенти кафедраи химияи таҳлилий. **Суроға:** 7340425, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** +992985087388. **E-mail:** Gadoev1990@mail.ru

Курбанова Фируза Шамсуллоевна - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи химияи таҳлилий. **Суроға:** 7340425, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** +992001442992. **E-mail:** firuza.kurbonova@internet.ru

Шеров Курбан Мирзоалиевич – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи химияи таҳлилий. **Суроға:** 7340425, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** +992919415762. **E-mail:** sherov1961@mail.ru

Сведения об авторах: Гадовев Сухроб Шокирович – Таджикский национальный университет, ассистент кафедры аналитической химии. **Адрес:** 7340425, ш. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** +992985087388. **E-mail:** Gadoev1990@mail.ru.

Курбанова Фируза Шамсуллоевна – Таджикский национальный университет, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии. **Адрес:** 7340425, ш. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** +992001442992. **E-mail:** firuza.kurbonova@internet.ru

Шеров Курбан Мирзоалиевич – Таджикский национальный университет, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии. **Адрес:** 7340425, ш. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** +992919415762. **E-mail:** sherov1961@mail.ru.

Information about the authors: Gadoev Suhrob Shokirovich – Tajik national university, assistant of the department of analytical chemistry. **Address:** 7340425, sh. Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** +992985087388. **E-mail:** Gadoev1990@mail.ru

Kurbanova Firuza Shamsulloевна - Tajik national university, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Analytical Chemistry. **Address:** 7340425, sh. Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** +992001442992. **E-mail:** firuza.kurbonova@internet.ru

Sherov Kurban Mirzoalievich - Tajik National University, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Analytical Chemistry. **Address:** 7340425, sh. Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** +992919415762. **E-mail:** sherov1961@mail.ru

УДК: 546.31(575.3)

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И РАСЧЁТ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ,
ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ
ТУРПИ СМЕСЬЮ СЕРНОЙ И АЗОТНОЙ КИСЛОТ**

Мирзоев Д.Х., Джамолов Н.М., Юсупов Б.Я., Холматов Т.Б.,
Рахимов И.М.

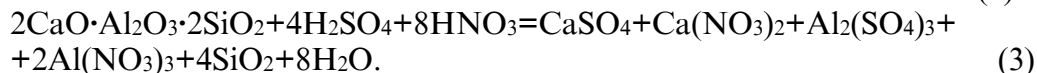
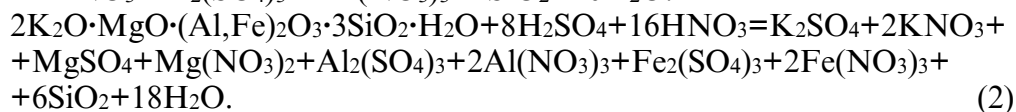
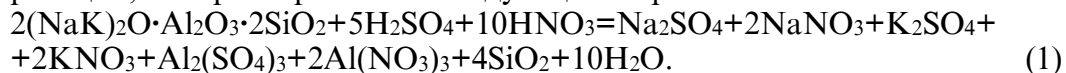
Институт химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана

В работах [1-16] было изучено разложение нефелиновых сиенитов, ставралитовых, мусковитовых руд и урановых концентратов минеральными кислотами и хлорированием, установлены оптимальные параметры процессов разложения, приведены термодинамические оценки протекающих процессов и рассчитана их кинетика.

В настоящей работе приведены результаты термодинамического анализа и расчёты кинетических характеристик для процессов, которые происходят при разложении нефелинового сиенита Турпинского месторождения смесью серной и азотной кислот.

Согласно показаниям рентгенофазового анализа, нефелиновый сиенит представлен минералами, как: нефелин (общая формула $(Na, K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), биотит $K_2O \cdot MgO \cdot (Al, Fe)_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$, анортит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, микроклин $K[AlSi_3O_8]$, кальцит $CaCO_3$, альбит $Na[AlSi_3O_8]$ и ортоклаз.

При разложении нефелиновых сиенитов возможно протекание следующих реакций, которые протекают следующим образом:



Для вычисления самопроизвольного протекания реакций (1)-(4) были использованы стандартные термодинамические величины [4], согласно которым для рассматриваемых реакций вычислялись величины термодинамических параметров, обобщённые в виде таблицы 1.

На основании уравнения (5) для указанных реакций вычисляли величину их стандартного теплового эффекта на основании стандартных теплот образования участвующих в реакциях веществ согласно уравнению:

$$\Delta H^{\circ}_{298} = \sum \Delta_f H^{\circ}_{298} (\text{кон. продукт}) - \sum \Delta_f H^{\circ}_{298} (\text{исх продукт}). \quad (5)$$

Соответственно, с использованием справочной литературы [4, 5], учитывая, что значение P является const, вычисляли изменение теплоёмкости всей системы (ΔC°_p) в процессе протекания реакции, используя уравнение:

$$\Delta C^{\circ}_p = \sum \nu_{\text{кон}} C_p^{\text{кон}} - \sum \nu_{\text{исх}} C_p^{\text{исх}}. \quad (6)$$

Далее, интегрируя уравнение Кирхгофа, его используют при вычислении тепловых эффектов при конкретных заданных температурах:

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT. \quad (7)$$

Когда $\Delta C^{\circ}_p = \text{const} = \Delta C^{\circ}_{p298}$, тогда:

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_{298} + \Delta C_{p298} \cdot (T - 298). \quad (8)$$

Следующим этапом для рассматриваемых реакций явилось определение изменения энтропии в стандартных условиях с использованием справочных данных [5], ΔS°_{298} вычисляли согласно уравнения:

$$\Delta S^{\circ}_{298} = \sum \Delta S^{\circ}_{298}(\text{конечный продукт}) - \sum \Delta S^{\circ}_{298}(\text{исходное в-во}). \quad (9)$$

Таблица 1. Термодинамические величины веществ [4]
Table 1. Thermodynamic quantities of substances [4]

№	Вещество	ΔH°_{298} , кДж/моль	ΔS°_{298} , Дж/моль·град
1	$(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ кр	-2093	124
2	$K_2O \cdot 3MgO \cdot (Al,Fe)_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$ кр	-2336	354.7
3	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ кр	-4222.9	214.8
4	$CaCO_3$ кр	-1219.7	91.71
5	H_2SO_4 ж	-814.2	157
6	HNO_3 ж	-174.3	156
7	$Al_2(SO_4)_3$ кр	-3792.33	55
8	$Al(NO_3)_3$ кр	-1151.9	140.4
9	$Fe_2(SO_4)_3$ кр	-2825.7	-564
10	$Fe(NO_3)_3$ кр	-728.4	132.6
11	Na_2SO_4 кр	-1395.9	136
12	$NaNO_3$ кр	-447.8	206.12
13	K_2SO_4 кр	-1439.2	175.5
14	KNO_3 кр	-459.65	248.12
15	$MgSO_4$	-1287.4	91.5
16	$Mg(NO_3)_2$ кр	-879.4	164.01
17	$CaSO_4$ кр	-1436.28	106.6
18	$Ca(NO_3)_2$ кр	-961.6	193.3
19	SiO_2 кр	-910.9	42
20	H_2O ж	-286	70
21	CO_2 г	-393.51	213.67

Пересчёт стандартной температуры (298 К) на любые другие температуры проводили согласно уравнению:

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT = \Delta S_{298} + \Delta C_{op,298} \ln(T/298). \quad (10)$$

При стандартных условиях также вычисляли изменение энергии Гиббса (ΔG_{298}) по уравнению:

$$\Delta G_{298} = \Delta H_{298} - \Delta S_{298}. \quad (11)$$

Для конкретной температуры изменение энергии Гиббса определяли по формуле:

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \Delta S_T. \quad (12)$$

Для разложения нефелинового сиенита смесью ($H_2SO_4 + HNO_3$), был выбран температурный интервал от 298 до 371 К, так как при температурах ниже 298 К замедляют протекание химических реакций, соответственно, при температурах выше 371 К происходит закипание растворов. На основании того, что протекание

реакций происходит в ограниченном интервале изменения температур, влияние теплоёмкости на величины энтальпию для изучаемых соединений не учитывалось.

В таблице 2 обобщены термодинамические характеристики рассматриваемых химических реакций (1) -(4).

Таблица 2. Величины термодинамических характеристики реакций, происходящих в результате взаимодействия минералов нефелинового сиенита Турпи смесью кислот ($H_2SO_4+HNO_3$)

Table 2. Calculated thermodynamic characteristics of the reactions occurring during the interaction of Turpi nepheline syenite minerals with a mixture of ($H_2SO_4+HNO_3$)

№ схемы реакции	ΔH°_{298} , кДж/моль	ΔS°_{298} , Дж/моль·град	ΔG°_{298} , кДж/моль
(1)	-7249.6	-97.22	-7220.63
(2)	-11542.8	-2053.55	-10930.84
(3)	-1328.5	-941.3	-1048
(4)	-1374.3	214.82	-1438.31

По изменению значений энтальпии и энтропии реакций было проведено вычисление энергии Гиббса (ΔG , кДж/моль) в температурном диапазоне 298-371 К и, соответственно, построен график, характеризующий температурную зависимость величины ΔG (таблица 3, рисунок 1). Из значений таблицы 3 и рисунка можно заключить, что в реакциях (1) -(4) отрицательные величины ΔG увеличиваются с ростом температуры процесса, что оказывает положительное влияние на ход процесса.

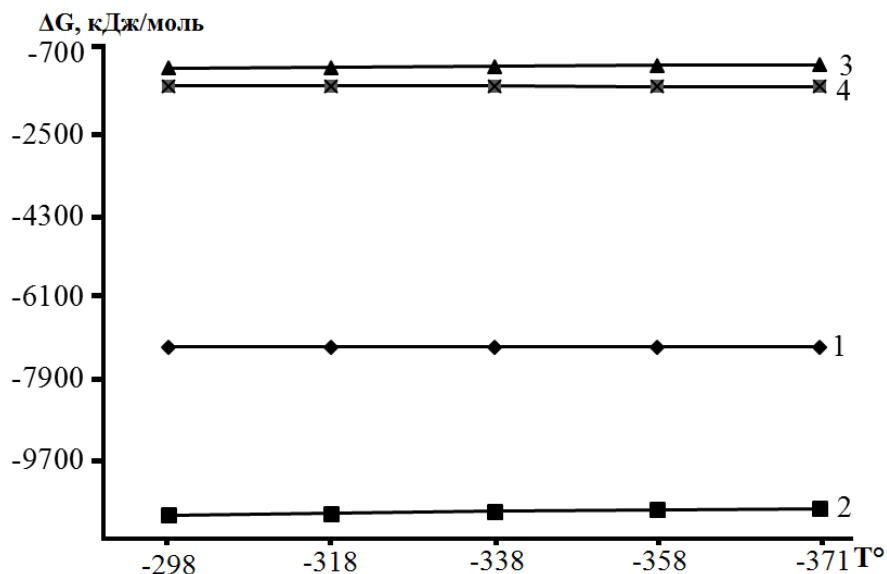
Таблица 3. Величины энергии Гиббса (ΔG , кДж/моль) в рассматриваемых реакциях в температурном диапазоне 298-371 К

Table 3. Gibbs energy values (ΔG , kJ/mol) of the considered reactions in the temperature range 298-371 K

№ схемы реакции	ΔG°_{298}	ΔG°_{318}	ΔG°_{338}	ΔG°_{358}	ΔG°_{371}
(1)	-7220.63	-7218.7	-7216.74	-7214.8	-7213.53
(2)	-10930.84	-10889.77	-10848.7	-10807.63	-10780.93
(3)	-1048	-1029.17	-1010.34	-991.51	-979.28
(4)	-1438.31	-1442.61	-1446.9	-1451.2	-1454

Рисунок 1. Зависимости изменения ΔG от температуры разложения минералов нефелиновых сиенитов Турпи смесью серной и азотной кислот (1 - нефелин, 2 – биотит, 3 - анортит, 4 – кальцит)

Figure 1. Dependences of ΔG change on decomposition temperatures of Turpi nepheline syenite minerals with a mixture of sulfuric and nitric acids (1 - nepheline, 2 - biotite, 3 - anorthite, 4 – calcite)



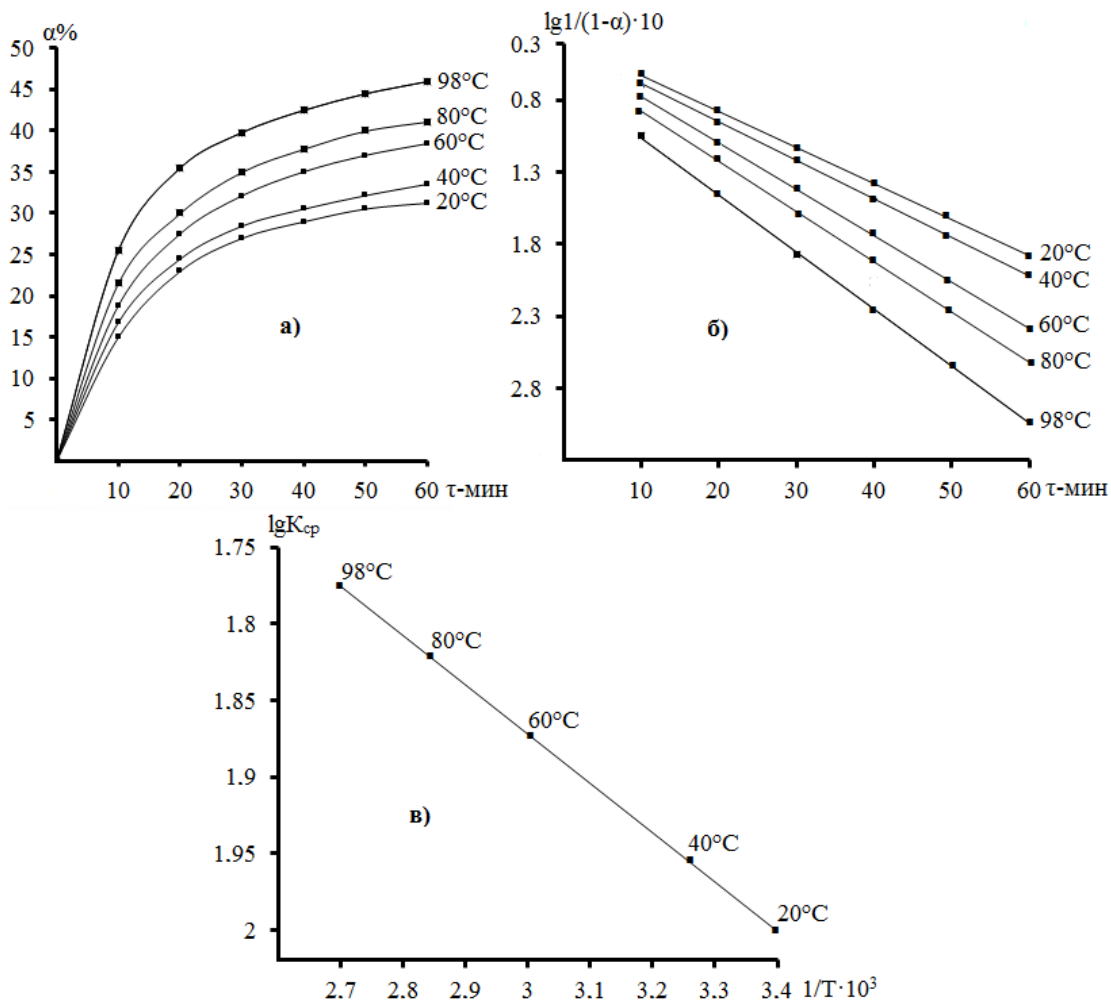
Также для нефелиновых сиенитов Турпи исследована кинетика их разложения смесью серной и азотной кислот (рисунки 2 и 3.).

Согласно рисунку 2а можно увидеть, что расположение кинетических кривых, характеризующих разложение нефелинового сиенита смесью минеральных кислот ($H_2SO_4 + HNO_3$), при извлечении Al_2O_3 в раствор свидетельствует, что нефелиновый сиенит при $T=98^\circ C$ в течение 60 мин разлагается достаточно быстро, при этом извлекается 45-46% Al_2O_3 . При $T=80^\circ C$ извлечение из нефелинового сиенита в раствор Al_2O_3 несколько меньше, примерно 40-41%.

Для нефелиновых сиенитов с извлечением оксида алюминия вычислили их скорости разложения, согласно кинетическому уравнению I-го порядка.

Рисунок 2. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 от: продолжительности процесса разложения (а), $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимость $\lg K_{cr}$ от обратной абсолютной температуры $1/T \cdot 10^3$ (в) при извлечении Al_2O_3 в раствор в результате обработки 50%- ной H_2SO_4 и 40% -ной HNO_3 нефелинового сиенита

Figure 2. Dependence of the degree of extraction of Al_2O_3 on: the duration of the decomposition process (a), $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ on time (b) and the dependence of $\lg K_{cr}$ on inverse absolute temperature $1/T \cdot 10^3$ (c) at Al_2O_3 recovery in solution after treatment with 50% H_2SO_4 and 40% HNO_3 of nepheline syenite



Расположение кинетических кривых, характеризующих разложение нефелинового сиенита с извлечением Al_2O_3 , в диапазоне $T=20-40^\circ C$ является почти прямолинейным, переходя при $T>60^\circ C$ в параболическое расположение, что можно объяснить разложением глинозёмсодержащих минералов нефелинового сиенита при $T>60^\circ C$.

Ход кинетических кривых данного процесса также соответствует уравнению I-го порядка:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = \frac{K}{(1-\alpha)}, \quad (13)$$

где: α - степень разложения;

τ - время, мин;

K - const скорости разложения, мин.

$$\lg(1 - \alpha) = \frac{K\tau}{2.303}. \quad (14)$$

В соответствии с графиком (рисунок 2б), который характеризует влияние времени на $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$, показано, что кинетические кривые линии отрицательно наклонены, и их наклон составляет $K/2.303$.

Также на основании уравнения Аррениуса были вычислены основные кинетические показатели (рисунок 2в) - кажущаяся энергия активации (E) и предэкспоненциальный множитель K_0 , которые вычислялись графически по уравнениям:

$$K = K_0 \frac{E}{RT}, \quad (15)$$

$$K = K_0 - \frac{E}{2,303 \cdot RT}, \quad (16)$$

здесь: R – величина универсальной газовой постоянной (const), кДж/моль;
T – абсолютная температура, градус Кельвина.

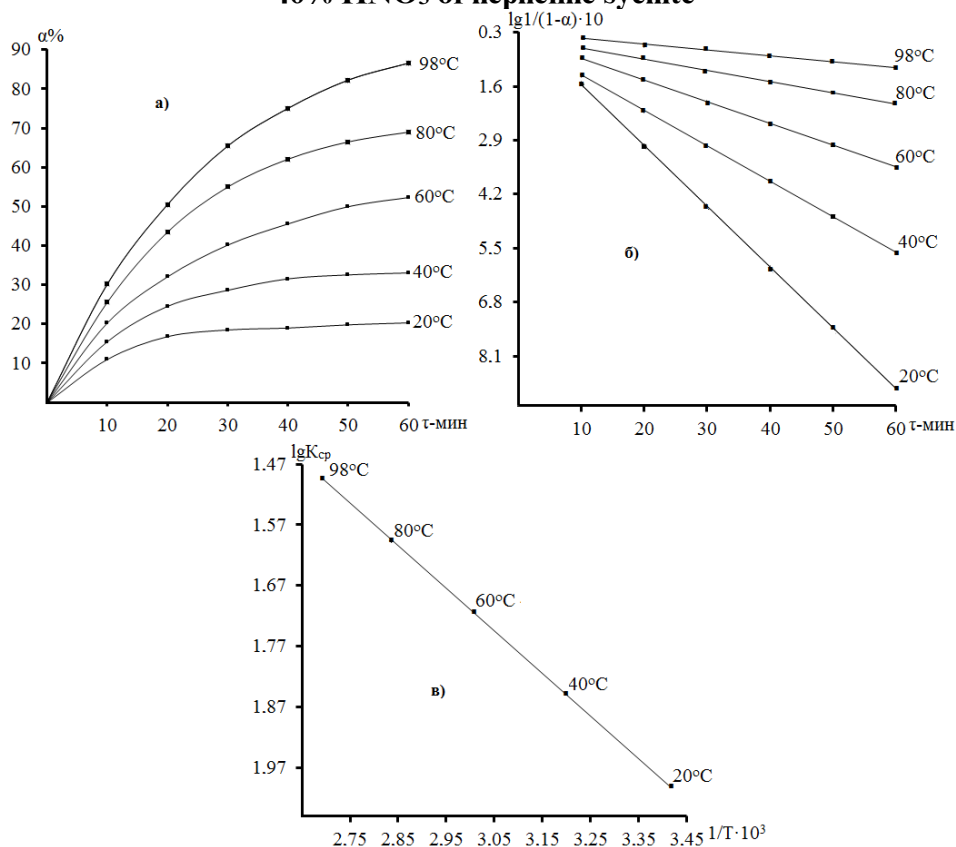
В соответствии с рисунком 2в показано, что на кривой линии Аррениуса расчётные точки хорошо согласованы друг с другом. Значение кажущейся энергии активации (E) было вычислено по наклону полученной кривой линии, соответственно, величина (E) для Al₂O₃ оказалась равной 19.75 кДж/моль, то есть подтверждено прохождение данного разложения под диффузионно-смешанным контролем.

Согласно рисунку 3а можно увидеть, что расположение кинетических кривых, характеризующих разложение нефелинового сиенита смесью минеральных кислот (H₂SO₄+HNO₃), при извлечении Fe₂O₃ в раствор свидетельствует, что нефелиновый сиенит при T=98°C в течение 60 мин разлагается достаточно быстро, при этом извлекается 86.5% Fe₂O₃. При T=80°C извлечение из нефелинового сиенита в раствор Fe₂O₃ несколько меньше – 68-69%.

Для нефелиновых сиенитов с извлечением оксида железа вычислили их скорости разложения, согласно кинетическому уравнению I-го порядка.

Рисунок 3. Зависимость степени извлечения Fe₂O₃ от: продолжительности процесса разложения (а), lg 1/(1-α) · 10 от времени (б) и зависимость lg K_{ср.} от обратной абсолютной температуры 1/T · 10³ (в) при извлечении Fe₂O₃ в раствор в результате обработки 50%-ной H₂SO₄ и 40%-ной HNO₃ нефелинового сиенита

Figure 3. Dependence of Fe₂O₃ extraction degree on: duration of decomposition process (a), lg 1/(1-α)-10 versus time (b) and dependence of lg K_{ср.} versus inverse absolute temperature 1/T · 10³ (c) at Fe₂O₃ extraction into solution as a result of treatment with 50% H₂SO₄ and 40% HNO₃ of nepheline syenite



Расположение кинетических кривых, характеризующих разложение нефелинового сиенита с извлечением Fe_2O_3 , в диапазоне $T=20-40^\circ\text{C}$ является почти прямолинейным, переходя при $T>60^\circ\text{C}$ в параболическое расположение, что можно объяснить разложением глинозёмсодержащих минералов нефелинового сиенита при $T>60^\circ\text{C}$.

Ход кинетических кривых данного процесса также соответствует уравнению I-го порядка:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = \frac{K}{(1-\alpha)}, \quad (17)$$

где: α - степень разложения;

τ - время, мин;

K - const скорости разложения, мин.

$$\lg(1 - \alpha) = \frac{K\tau}{2,303}. \quad (18)$$

В соответствии с графиком (рисунок 3б), который характеризует влияние времени на $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$, показано, что кинетические кривые линии для извлечения Fe_2O_3 отрицательно наклонены, и их наклон составляет $K/2.303$.

Также на основании уравнения Аррениуса для извлечения Fe_2O_3 были вычислены основные кинетические показатели (рисунок 3в) - кажущаяся энергия активации (E) и предэкспоненциальный множитель K_0 , которые вычислялись графически по уравнениям:

$$K = K_0 \frac{E}{RT}, \quad (19)$$

$$K = K_0 - \frac{E}{2,303 \cdot RT}, \quad (20)$$

здесь: R - величина универсальной газовой постоянной (const), кДж/моль;

T - абсолютная температура, градус Кельвина.

В соответствии с рисунком 3в показано, что на кривой линии Аррениуса расчётные точки хорошо согласованы друг с другом. Значение кажущейся энергии активации (E) было вычислено по наклону полученной кривой линии, соответственно, величина (E) для Fe_2O_3 оказалась равной 23.16 кДж/моль, то есть подтверждено прохождение данного разложения под диффузионно-смешанным контролем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирсаидов, У.М. Комплексная переработка низкокачественного алюминийсодержащего сырья / У.М. Мирсаидов, Х.С. Сафиев // -Душанбе, 1998. - 238 с.
2. Мищенко, К.П. Краткий справочник физико-химических величин/К.П.Мищенко, А.А. Равдель // Л. Химия.1974. - 200 с.
3. Отаев, Ш.Д. Термодинамическая оценка разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана минеральными кислотами. / Ш.Д. Отаев, Д.Х. Мирзоев, А.М. Каюмов, У.М. Мирсаидов // Известия АН РТ, 2019, №4(177). - С.98-103.
4. Рябин В.А. Термодинамические свойства веществ: Справочник / В.А. Рябин, Т.Ф. Остроумов // Л. Химия. - 1977. - 390 с.
5. Равдель А.А. Краткий справочник физико-химических величин/А.А.Равдель, А.М. Пономарева // Л. Химия, 1983. - 232 с.
6. Мирсаидов У.М. Комплексная переработка аргиллитов и каолиновых глин Таджикистана/ У.М. Мирсаидов, Д.Х. Мирзоев, Х.Э. Бобоев // - Душанбе: Дониш, 2016. - 92 с.
7. Мирзоев Д.Х. Кинетика сернокислотного разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг. / Д.Х. Мирзоев, Х.Э. Бобоев, М.С. Пулатов, У.М. Мирсаидов // ДАН РТ, 2005. Т.48, №11-12. - С.60-63.
8. Мирзоев Д.Х. Разработка технологии переработки каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана азотной кислотой/ Д.Х. Мирзоев, М.С. Пулатов, А.М. Каюмов, М.М. Худойкулов // ДАН РТ, 2012. Т.55, №1. -С.35-38.

9. Мирзоев Д.Х. Кинетика солянокислотного разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг. / Д.Х. Мирзоев, А.М. Каюмов, М.Х. Мирзоев, М.С. Пулатов, У.М. Мирсаидов // ДАН РТ, 2012. Т.55, №4. - С.317-321.
10. Мирзоев Д.Х. Азотнокислотное разложение аргиллитов месторождения Зидды. / Д.Х. Мирзоев, М.М. Худойкулов, А.М. Каюмов, У.М. Мирсаидов // ДАН РТ, 2012. Т.55, №2. – С.141-144.
11. Каюмов А.М. Кинетика азотнокислотного разложения аргиллитов Чашма-Санг. \ А.М. Каюмов, Д.Х. Мирзоев, А.М. Баротов // Известия АН РТ, 2015, №2(159). –С.47-51.
12. Мирзоев Д.Х. Кинетика солянокислотного разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг. / Д.Х. Мирзоев, Ш.Д. Отаев, М.М. Худойкулов, С.М. Гафорзода, У.М. Мирсаидов // ДАН РТ, 2017. Т.60, №3-4. –С.164-167.
13. Мирзоев Д.Х. Кинетика сернокислотного разложения аргиллитов месторождения Зидды. / Д.Х. Мирзоев, Х.Э. Бобоев, М.С. Пулатов, У.М. Мирсаидов У.М. // ДАН РТ, 2005. Т.48, №9-10. –С. 95-99.
14. Мирзоев Б. Кинетика хлорирования нефелиновых сиенитов Таджикистана. - Материалы конференции молодых учёных АН ТаджССР / Б. Мирзоев, Х. Сафиев // – Душанбе, 1987. - С.21.
15. Салимова П.Т., Физико-химические исследования глинозёмсодержащего сырья ставролит-мусковитовых руд Курговладского месторождения. - Вестник ТНУ, серия естественных наук / П.Т. Салимова, Ю.Я. Валиев, А.Х. Сафиев, Д.Р. Рузиев // 2012, №1/1(77). – С.134-138.
16. Мирсаидов И., Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов горнорудной промышленности. - Сборник статей международной научно-практической конференции «Современные проблемы химии, применение и их перспективы», посвящ. 60-летию кафедры органической химии и памяти д.х.н., профессора Халикова Ширинбека Халиковича/И.Мирсаидов, Ф.А.Хамидов, Б.Б. Баротов, К.О. Бобоев, Д.Н. Эшов // 2021. – С.308-312.

LITERATURE

1. Mirsaidov, U.M. Complex processing of low-quality aluminum-containing raw materials / U.M. Mirsaidov, H.S. Safiev // –Dushanbe, 1998. – 238 p.
2. Mishchenko, K.P. Brief reference book of physical and chemical quantities. / K. P. Mishchenko, A. A. Ravdel // L. Chemistry, 1974. – 200 p.
3. Otaev, Sh.D. Thermodynamic assessment of the decomposition of kaolin clays from the Chashma-Sang deposit of Tajikistan by mineral acids/ Sh.D.Otaev, D.Kh.Mirzoev, A.M.Kayumov, U.M. Mirsaidov// News of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2019. № 4(177). –Pp.98-103.
4. Ryabin V.A. Thermodynamic properties of substances: Handbook. / V.A. Ryabin, T.F. Ostroumov // L. Chemistry, 1977. –390 p.
5. Ravdel A.A. Brief reference book of physical and chemical quantities/A.A.Ravdel, A.M. Ponomareva // L. Chemistry, 1983. – 232 p.
6. Mirsaidov U.M. Complex processing of mudstones and kaolin clays of Tajikistan. / MIND. Mirsaidov, D.Kh. Mirzoev, Kh.E. Boboev // –Dushanbe: Donish, 2016. – 92 p.
7. Mirzoev D.Kh. Kinetics of sulfuric acid decomposition of mudstones of the Chashma-Sang deposit. / D.H. Mirzoev, Kh.E. Boboev, M.S. Pulatov, U.M. Mirsaidov // DAN RT, 2005, vol. 48, no. 11-12. –Pp. 60-63.
8. Mirzoev D.Kh. Development of technology for processing kaolin clays from the Chashma-Sang deposit in Tajikistan with nitric acid. / D.H. Mirzoev, M.S. Pulatov, A.M. Kayumov, M.M. Khudoykulov // DAN RT, 2012, vol. 55, no. 1. –Pp. 35-38.
9. Mirzoev D.Kh. Kinetics of hydrochloric acid decomposition of mudstones of the Chashma-Sang deposit. / D.H. Mirzoev, A.M. Kayumov, M.Kh. Mirzoev, M.S. Pulatov, U.M. Mirsaidov // DAN RT, 2012, vol. 55, no. 4. –Pp. 317-321.
10. Mirzoev D.Kh. Nitric acid decomposition of mudstones from the Ziddy deposit. / D.H. Mirzoev, M.M. Khudoykulov, A.M. Kayumov, U.M. Mirsaidov // DAN RT, 2012, vol. 55, no. 2, p. 141-144.
11. Kayumov A.M. Kinetics of nitric acid decomposition of Chashma-Sang mudstones.\ А.М. Каюмов, Д.Х. Мирзоев, А.М. Баротов // News of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2015, No. 2(159). –Pp.47-51.
12. Mirzoev D.Kh. Kinetics of hydrochloric acid decomposition of kaolin clays from the Chashma-Sang deposit. / D.H. Mirzoev, Sh.D. Otaev, M.M. Khudoykulov, S.M. Gaforzoda, U.M. Mirsaidov // DAN RT, 2017, vol. 60, no. 3-4. –Pp.164-167.

13. Mirzoev D.Kh. Kinetics of sulfuric acid decomposition of mudstones of the Ziddy deposit. / D.H. Mirzoev, Kh.E. Boboev, M.S. Pulatov, U.M. Mirsaidov U.M. // DAN RT, 2005, vol. 48, No. 9-10. –Pp. 95-99.
14. Mirzoev B. Kinetics of chlorination of nepheline syenites of Tajikistan. - Proceedings of the conference of young scientists of the Academy of Sciences of the Tajik SSR / B. Mirzoev, Kh. Safiev. // - Dushanbe, 1987. –Pp.21.
15. Salimova P.T., Physico-chemical studies of alumina-containing raw materials of staurolite-muscovite ores of the Kurgovadskoe deposit. - Bulletin of TNU, series of natural sciences / P.T. Salimova, Yu.Ya. Valiev, A.Kh. Safiev, D.R. Ruziev // 2012, No. 1/1(77). –Pp.134-138.
16. Mirsaidov I., Physico-chemical basis for obtaining uranium concentrates from mining waste. - Collection of articles of the international scientific and practical conference “Modern problems of chemistry, application and their prospects”, dedicated to 60th anniversary of the Department of Organic Chemistry and the memory of Doctor of Chemical Sciences, Professor Khalikov Shirinbek Khalikovich. / I. Mirsaidov, F.A. Khamidov, B.B. Barotov, K.O. Boboev, D.N. Eshov // 2021. –Pp. 308-312.

ТАҲЛИЛИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ГУЗАРИШИ РАВАНДҶО ВА ҲИСОБКУНИИ КИНЕТИКА ҲАНГОМИ ТАҶЗИЯИ СИЕНИТҶОИ НЕФЕЛИНИ ТУРПИ БО ОМЕХТАИ КИСЛОТАҶОИ СУЛФАТ ВА НИТРАТ

Дар мақола натиҷаҳои зерин оварда шудаанд: таркиби минералии чинси куҳи ва имкони гузариши равандҷо ҳангоми таҷзия бо кислотаҷо. Таҳлили термодинамикии гузариши равандҷо ва ҳисоби кинетикаи таҷзияи сиентҳои нефелини Турпии Ҷумҳурии Тоҷикистон бо омехтаҳои кислотаҷо сулфат ва нитрат оварда шудааст. Инчунин, таҳлилҳои ҳосиятҳои термодинамикии маъданҷо, ки дар таркиби ашёҳои алюмосилитсидор дохиланд муайян карда шудааст. Дар маъданҳои таркибии сиенитҳои нефелини гузариши раванди тамоми маъданҷо бо омехтаи кислотаҷо сулфату нитрат имкон дорад. Инчунин, кинетикаи таҷзияи оксидҳои: алюминий ва оҳан, ҳисоб карда шуда, суръати таҷзияи сиенитҳои нефелинӣ, ки бо истифодаи формулаи барорбари дараҷаи якум, ҳангоми ҳисоби энергия фаолшавӣ муайян карда шуд, ки барои Al_2O_3 19,75 кҶоул/мол тартиб медиҳад, ки дар ҳудуди диффузионӣ наздик ва ба ҳудуди омехта тааллуқ дорад, барои Fe_2O_3 ба 23,16 кҶоул /мол баробар буда ба ҳудуди диффузёнӣ наздик ва ба ҳудуди омехта тааллуқ дорад.

Калидвожаҳо: сиенитҳои нефелинии Турпи, энталпия, энтропия, энергия Гиббс, таҳлили термодинамики, энергия фаолгардӣ, ҳудуди диффузионӣ, ҳудуди омехта

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И РАСЧЕТ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ ТУРПИ СМЕСЬЮ СЕРНОЙ И АЗОТНОЙ КИСЛОТ

В статье приведены: минералогический состав нефелиновых сиенитов и возможные протекающие реакции при кислотном разложении, результаты термодинамического анализа, характеризующего процессы, которые происходят при разложении нефелинового сиенита месторождения Турпи Республики Таджикистан смесью ($H_2SO_4+HNO_3$), также рассчитана кинетика извлечения оксидов алюминия и железа, определены скорости разложения рассматриваемой руды, вычисленные согласно кинетическому уравнению I-го порядка, вычислены значения энергии активации: для Al_2O_3 (19,75 кДж/моль) и для Fe_2O_3 (23,16 кДж/моль), то есть разложение происходит под диффузионно-смешанным контролем.

Ключевые слова: нефелиновые сиениты Турпи, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, термодинамический анализ, диффузионная область, смешанная область.

THERMODYNAMIC ANALYSIS AND CALCULATION OF KINETICS OF PROCESSES OCCURRING IN THE DECOMPOSITION OF NEPHELINE SYENITES TURPI BY THE MIXTURE OF SULFURIC AND NITRIC ACIDS

The article presents: the mineralogical composition of the ore and possible reactions occurring during acid decomposition, the results of a thermodynamic analysis of the processes occurring during the decomposition of nepheline syenites of the Turpi deposit of the Republic of Tajikistan with a mixture of sulfuric and nitric acids. An analysis of thermodynamic characteristics is provided, the possibility of reactions of all minerals of the nepheline syenites composed of with a mixture of sulfuric and nitric acids are shown, and the kinetics of decomposition of oxides: aluminum and iron are calculated, the rates of decomposition of nepheline syenites are determined, which were calculated using the first-order kinetic equation. When calculating the kinetics, the activation energies for Al_2O_3 were determined, which amounted to 19.75 kJ / m and belongs to the diffusion region close to the mixed region, and for Fe_2O_3 amounted to 23.16 kJ / m, which also belongs to the diffusion region, close to the mixed region.

Key words: nepheline syenites Turpy, enthalpy, entropy, Gibbs energy, thermodynamic analysis, diffusion region, mixed region.

Маълумот дар бораи муаллиф: **Мирзоев Давлатмурод Хайруллоевич** - Институти химия ба номи В.И. Никитин, номзади фанҳои техники, ходими пешбари илми лабораторияи коркарди комплекси ашёи хоми минералӣ ва партовҳои саноат. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, к. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992)938971555. **E-mail:** davlatmurod.mirzoev.71@mail.ru.

Ҷамолов Нурмуҳаммад Маҳмаҷонович - Институти химия ба номи В.И. Никитин, докталаб, ходими илми лабораторияи коркарди комплекси ашёи хоми минералӣ ва партовҳои саноат. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, к. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 985048480. **E-mail:** nurmuhammadj1993@gmail.com.

Юсупов Бехзод Ятимович - Институти химия ба номи В.И. Никитин, магистри курси дуюм. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, к. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 555599501. **E-mail:** behzod.yusupov.95@gmail.com.

Холматов Туйҷи Бурихонович - Институти химия ба номи В.И. Никитин, докторанти (PhD)-и лабораторияи коркарди комплекси ашёи хоми минералӣ ва партовҳои саноатӣ. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, к. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 988090937. **E-mail:** 988090937@mail.ru.

Рахимов Илхомиддин Мирзоевич - Институти химия ба номи В.И. Никитин, мудири лабораторияи коркарди комплекси ашёи хоми минералӣ ва партовҳои саноат. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Тоҷикистон, кӯчаи Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 928131483. **E-mail:** rahimzod_74@mail.ru.

Сведения об авторах: **Мирзоев Давлатмурод Хайруллоевич** - Институт химии им. В.И. Никитина, ведущий научный сотрудник лаборатории комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов, кандидат технических наук. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ул. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 938971555. **E-mail:** davlatmurod.mirzoev.71@mail.ru.

Джамолов Нурмухаммад Махмаджонович - Институт химии им. В.И. Никитина, научный сотрудник лаборатории комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов, соискатель. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ул. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 985048480. **E-mail:** nurmuhammadj1993@gmail.com.

Юсупов Бехзод Ятимович - Институт химии им. В.И. Никитина, магистрант второго курса. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ул. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 555599501. **E-mail:** behzod.yusupov.95@gmail.com.

Холматов Туйҷи Бурихонович - Институт химии им. В.И. Никитина, докторант (Ph.D) лаборатории комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ул. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 988090937. **E-mail:** 988090937@mail.ru.

Рахимов Илхомиддин Мирзоевич - Институт химии им. В.И. Никитина, заведующий лабораторией комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Таджикистан, ул. Айнӣ, 299/2. **Телефон:** (+992) 928131483. **E-mail:** rahimzod_74@mail.ru.

Information about the authors: **Mirzoev Davlatmurod Khairulloevich** - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Complex Processing of Mineral Raw Materials and Industrial Waste. **Address:** 734063 Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni street, 299/2. **Phone:** (+992) 938-97-15-55. **E-mail:** davlatmurod.mirzoev.71@mail.ru.

Jamolov Nurmuhammad Mahmadjonovich - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Ph.D. Researcher at the Laboratory for Complex Processing of Mineral Raw Materials and Industrial Waste. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni street, 299/2. **Phone:** (+992) 985048480. **E-mail:** nurmuhammadj1993@gmail.com.

Yusupov Bekhzod Yatimovich - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, master's degree second-year. **Address:** 734063, Dushanbe Republic of Tajikistan, Ayni street, 299/2. **Phone:** (+992) 555599501. **E-mail:** behzod.yusupov.95@gmail.com.

Kholmatov Tuychi Burikhonovich - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, Ph.D, Laboratory of complex processing of mineral raw materials and industrial waste. **Address:** 734063 Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni street, 299/2. **Phone:** (+992) 988090937. **E-mail:** 988090937@mail.ru.

Rakhimov Ilhomiddin Mirzoevich - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, head of the laboratory for the complex processing of mineral raw materials and industrial waste. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni street, 299/2. **Phone:** (+992) 928131483. **E-mail:** rahimzod_74@mail.ru.

УДК: 543.4. 51.544: 665.52

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАДЖИКИСТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Алиева Ш.Р.¹, Шерова З.У.², Джонмуродов А.С.²,
Усманова С.Р.², Мухидинов З.К.²

¹Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды
Центральной Азии (Душанбе)

²Институт химии им В.И. Никитина НАН Таджикистана

Эфирные масла (ЭМ) - это жидкие экстракты ароматических растений, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Существует множество методов, используемых для экстракции эфирных масел, каждый из которых демонстрирует определенные преимущества и определяет биологические и физико-химические свойства экстрагированных масел. ЭМ из различных видов растений содержат более 200 компонентов, которые состоят из летучих и нелетучих элементов. Применение ЭМ в качестве противомикробных, противоопухолевых, противовоспалительных и противовирусных средств связано, в частности, с их эффективными и действенными свойствами [1].

ЭМ являются хорошим источником нескольких биологически активных соединений, обладающих антиоксидантными и антимикробными свойствами. Кроме того, некоторые ЭМ использовались в качестве лекарств. Более того, использование эфирных масел в качестве натуральных добавок для продления срока хранения пищевых продуктов привлекает все большее внимание из-за риска использования синтетических консервантов. ЭМ могут быть включены в состав упаковки, обеспечивая многофункциональность, называемую «активной или интеллектуальной упаковкой». ЭМ способны изменять матрицу упаковочных материалов, тем самым улучшая их свойства. Этот обзор охватывает новейшую литературу по ЭМ, включая источники, химический состав, методы экстракции, биоактивность и их применение, особенно с акцентом на сохранность и продление срока годности пищевых продуктов [2].

ЭМ, содержащиеся во многих различных растениях, особенно в ароматических, различаются по запаху и привкусу, которые регулируются типами и количеством компонентов, присутствующих в маслах. Кроме того, количество ЭМ из различных растений разное, следовательно, это и определяет ценовую политику ЭМ. Помимо ароматических соединений, естественные пигменты способствуют изменению цвета ЭМ. Это может повлиять на применение в качестве ингредиента некоторых продуктов. ЭМ обладают антиоксидантной и антимикробной активностями, благодаря чему они служат естественными добавками в пищевых продуктах. Также ЭМ используются в качестве активных соединений в упаковочных материалах, в которых можно улучшать свойства этих материалов, в частности, свойство барьера для водяного пара, связанного с гидрофобностью по природе ЭМ. Практически любая часть растений является источником масла, которое можно извлечь и полностью использовать для пищевых или других целей. Современные технологии постоянно развиваются, чтобы преодолеть ограничения традиционных методов и повысить эффективность экстракции. В связи с растущим вниманием к натуральным добавкам ЭМ нескольких растений стали использоваться более широко, особенно в сочетании с другими консервантами в рамках концепции «барьерной технологии». Таким образом, ЭМ могут служить альтернативными добавками или технологическими добавками в зеленой технологии [2].

Множественные сегменты масляных растений, такие как кожура, кора, листья, цветы, бутоны, семена и другие, используются для производства этих

ароматических маслянистых жидкостей, а в процессе экстракции применяются различные методы экстракции [2].

Кроме того, ЭМ широко известны как вторичные метаболиты растений, которые содержат сложные смеси летучих органических соединений, такие как терпены и сесквитерпены (углеводородная группа), а также спирты, простые и сложные эфиры, кетоны, альдегиды, фенолы, лактоны и феноловые эфиры (оксигенированная группа) [3].

Основные компоненты ЭМ составляют примерно 70 % его состава. Оставшаяся часть содержит множество других соединений, такие как жирные кислоты, оксиды и производные серы, альдегиды, и полифенолов [4, 5]. Известно, что защитная активность ЭМ или его компонентов может быть связана с антиоксидантной, антимикробной и противовоспалительной активностью [6-9]. Исследования показывают, что эфирные масла оказывают антимикробное действие, проникая через клеточные мембраны бактерий, что вызывает утечку ионов и цитоплазматического содержимого и ингибирует функциональные свойства клетки [4, 10].

Как правило, все виды ЭМ содержат два или три основных компонента с самыми высокими концентрациями (20% -70%) по сравнению с другими компонентами, присутствующими в следовых количествах. Например, у вида *Oraginum* ЭМ содержит 30% карвакола и 27% тимола в качестве основных компонентов. Эти компоненты определяют биологические свойства ароматических масел, при этом каждый из них входит в разные группы различного биосинтетического происхождения. Терпеноиды, фенилпропаноиды и производные короткоцепочечных алифатических углеводов являются основными специфическими группами для некоторых компонентов ЭМ [3].

Смеси растительных летучих соединений, в основном, состоят из терпеноидов и фенольных соединений. Биосинтез этих ароматизирующих летучих соединений осуществляется в специальных типах клеток, присутствующих почти во всех частях растения, от листьев или цветков до корней, в зависимости от рода растения [11]. Эти клетки представляют собой железистые трихомы, аддукторные полости и осмофоры, в которых происходит биосинтез и накопление соединений [12]. В соответствии с запахом этих соединений растения, которые могут производить те соединения, которые при экстрагировании называются эфирными маслами, называются ароматическими растениями. Ароматические растения не являются специфическими для данной таксономической группы, но они широко представлены во всем царстве растений. Состав ЭМ отличается от таксономической группы растений к другой [13–16]. Следует также отметить, что в растениях соединения, которые позже образуют ЭМ, рассматриваются как вторичные метаболиты с летучими характеристиками. Различия в химическом составе ЭМ могут меняться от растения к растению даже у одного и того же вида. Эти изменения в химическом профиле связаны со многими факторами, такими как абиотические и биотические факторы, послеуборочная обработка, методы экстракции и условия хранения [11].

Абиотические факторы объединяют все факторы, влияющие на производство вторичных метаболитов растениями, включая ЭМ. Эти факторы: гидрология почвы, pH и соленость, а также климат в целом, но, что более интересно, микроклимат, в котором растут растения [17-21]. Послеуборочная обработка включает в себя все процедуры, которые происходят между сбором растений и извлечением ЭМ. Имеются многочисленные сообщения, в которых подчеркивается тот факт, что сушка растительного материала перед экстракцией резко увеличивает выход экстракции [15,22,23]. Аналогом этого метода является тот факт, что после сбора растений происходит биохимическая реакция между

вторичными метаболитами. Результатом этого биохимического взаимодействия являются изменения в химическом составе полученного ЭМ по сравнению исходно присутствующим в растении [15, 22, 23].

Что касается метода консервации, объединяющего весь процесс между экстракцией и химическим анализом, характер масла может привести к некоторым модификациям. Фактически, большинство соединений, присутствующие в ЭМ, являются ненасыщенными (содержат двойные связи) и большинство из них чувствительны к свету (фоточувствительные) и к кислороду (окисляемые) [11].

Некоторые растения содержат ЭМ, однако части растений, которые служат основным источником ЭМ могут быть разными (табл. 1). К ним относятся корни, кожура, листья, семена, фрукты, кора и так далее. ЭМ растений обычно представляют собой сложную смесь природных соединений, как полярных, так и неполярных [24].

Таблица 1. Части растительного сырья, содержащие эфирные масла

Table 1. Parts of plant materials containing essential oils

Части	Растения
Листья	Бasilik, лавровый лист, корица, шалфей лекарственный, эвкалипт, цимбопегон, цитронелла, чайное дерево, мята, душица обыкновенная, пачули, мята перечная, сосна, розмарин лекарственный, мята колосистая, чайное дерево, тимьян, грушанка, папеда ежеиглистая, лавр благородный, чабер, эстрагон, каяпут, лантана, лимонный мирт, лимонное чайное дерево, найоли, литсея кубеба, петитгрейн, кипарис
Семена	Миндаль, анис, кардамон, тмин, морковь, сельдерей, кориандр, зира, мускатный орех, петрушка, фенхель
Древесина	Амирис, атласский кедр, гималайский кедр, камфора, палисандр, сандаловое дерево, мирт, гваяковое дерево
Кора	Кассия, корица, сассафрас, катрафай
Ягоды	Душистый перец, можжевельник
Смола	Ладан, мирра
Цветы	Голубая пижма, ромашка, шалфей мускатный, гвоздика, тмин, герань, бессмертник, жасмин, лаванда, манука, майоран, апельсин, роза, бакхарис, пальмароза, пачули, рододендрон древесный, каланхоэ, ажгон, иланг-иланг, майоран лесной, эстрагон, бессмертник, нероли
Кожура	Бергамот, грейпфрут, кафрский лайм, лимон, лайм, апельсин, танжерин, мандарин
Корень	Имбирь, плай, куркума, валериана, ветивер, нард, дягиль
Фрукты	Зантоксилум, мускатный орех, черный перец

ЭМ можно экстрагировать из нескольких растений с разными частями с помощью различных методов экстракции. Производство эфирных масел и метод, используемый для экстракции эфирных масел, обычно зависят от используемого растительного материала. Состояние и форма материала - еще один фактор, который следует учитывать. Метод экстракции - один из главных факторов,

определяющих качество ЭМ. Неправильная процедура экстракции может привести к повреждению или изменению химической сигнатуры ЭМ. Это приводит к потере биологической активности и природных характеристик. В тяжелых случаях может произойти обесцвечивание, неприятный запах/привкус, а также физические изменения, такие как повышение вязкости. Этим изменениям в экстрагированных ЭМ следует избегать. Экстракция ЭМ может осуществляться различными способами [2].

Существует комбинированный метод выделения ЭМ с помощью сочетания перегонки с паром и экстракции их из дистиллята органическими соединениями. Другим методом выделения и концентрирования ЭМ является улавливание летучих веществ сорбентами (тенакс, полисорб) или криоловушками. Этот метод удобен в тех случаях, когда необходимо исследовать легколетучие вещества в газовых образцах [25].

Чтобы сократить использование экстрактивных растворителей и требуемой энергии, используются новые методы, в том числе использование сверхкритического парового взрыва, ускоренной экстракции при высокой температуре и давлении, с помощью микроволн и ультразвука [26].

Паровая дистилляция - наиболее широко используемый метод экстракции ЭМ растений. Доля ЭМ, извлеченных с помощью паровой дистилляции, составляет 93%, а остальные 7% могут быть извлечены другими методами [24]. Обычно образец растения помещается в кипящую воду или нагревается паром. Применяемое тепло является основной причиной взрыва и разрушения клеточной структуры растительного материала. Как следствие, ароматические соединения или ЭМ из растительного материала высвобождаются [27]. Температура нагрева должна быть достаточной для разрушения растительного материала и выделения ароматического соединения или ЭМ [2].

Гидродистилляция стала стандартным методом экстракции ЭМ из растительного материала, такого как древесина или цветы, который часто используется для выделения нерастворимых в воде натуральных продуктов с высокой температурой кипения. Процесс предполагает полное погружение растительного сырья в воду с последующим кипячением. Этот метод в определенной степени защищает добываемое масло, поскольку окружающая вода действует как барьер, предотвращающий его перегрев. Пар и пары ЭМ конденсируются в водную фракцию. Преимущество этого метода в том, что необходимый материал можно перегонять при температуре ниже 100°C [2].

Гидродиффузионная экстракция - это тип перегонки с водяным паром, который отличается только входом пара в емкость дистиллятора. Этот метод используется, когда растительный материал высушен и не повреждается при температуре кипения [28]. Для гидродиффузии пар подается сверху на растительный материал, в то время как пар вводится снизу для метода паровой дистилляции. Процесс также может работать при низком давлении или вакууме и снижает температуру пара ниже 100°C. Гидродиффузионный метод превосходит перегонку с водяным паром из-за более короткого времени обработки и более высокого выхода масла при меньшем использовании пара [2].

Экстракция растворителем с помощью микроволновой печи оказалась особенно привлекательной для выделения ЭМ [29]. Микроволновая гидродистилляция сочетает в себе быстрый нагрев в микроволновом поле с традиционной экстракцией растворителем. Это позволяет значительно сэкономить время, поэтому экстракция может быть завершена за считанные минуты [30,31].

Трудоёмкость получения ЭМ их высокая стоимость, и широкое использование в промышленности приводят к тому, что в продаже наряду с качественными эфирными маслами встречаются и фальсифицированные

продукты. Для определения подлинности ЭМ и выявления их фальсификации используют различные методы, различающихся по точности и информативности [32]. Всемирно признанными и регламентирующими высокое качество эфирных масел являются [33]: – стандарты ISO Международной организации стандартов, в которой имеется Технический комитет ТК-54 по стандартизации эфирных масел [34]; – нормативы EQA американской ассоциации эфирных масел [35]; Наиболее простыми способами установления подлинности эфирных масел являются определение органолептических характеристик (цвет, прозрачность, запах, вкус), и установление физико-химических свойств (плотность, показатель преломления, угол вращения плоскости поляризации света, кислотное и эфирное числа, растворимость) масла [33].

Объектами данного исследования стали ЭМ некоторых растений, произрастающих в Таджикистане, а именно: *Angelica ternata* Rgl. Et.Schmalh (Дудник, Эшим, Вешим-тадж), *Thymus vulgaris* L (Тимьян Кокути-тадж.), *Salvia nemorosa* L., (Шалфей луговой), *Syzygium aromaticum* (Сизигиум ароматный или Гвоздичное дерево), *Lavandula Angustifolia* (Лаванда), *Eugenia caryophyllata* Thunb (Гвоздика), последняя была приобретена на местном рынке.

ЭМ из разных видов эфирноносных растений были получены двумя доступными методами – дистилляцией паром и гидродистилляцией, описанной в работе [36].

Сырье собиралось до фазы цветения и подсушивалось в тени при температуре 25°C до удаления посторонней влаги. Для сокращения потерь ЭМ сырье измельчалось непосредственно перед началом экстракции. Проверка подлинности полученных масел определялась физическими характеристиками масел: относительной плотностью и показателем преломления.

Относительную плотность определяли путем расчета соотношения между массой и объемом образца при 25°C (уравнение 1), используемого в предварительно откалиброванном пикнометре объемом 5 мл с использованием дистиллированной воды.

$$d_{20}^{25} = \frac{m}{v} \quad (1),$$

где: d = плотность (г.мл⁻¹); m = масса (г) and v = объем (мл).

Значение плотности масел, затем рассчитывали для стандартной температуры 20°C по формуле (2). Анализ проводился в трех повторностях.

$$d_{20}^{20} = d_{20}^{25} + \alpha(t - 20) \quad (2),$$

где α – поправочный коэффициент при изменении температуры на 1°C. Показатель преломления определяли с помощью дифференциального рефрактометра ИРФ-22. Образцы, шприцом, вводили в рефрактометр при 25°C до установления постоянного значения показателя преломления света. Анализ проводился в трех повторностях.

Параметры процесса экстракции ЭМ из изученных растений методами гидро- и паровой дистилляции при разных условиях времени и температуры, а также выход продукта приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные параметры процесса экстракции эфирных масел из изученных растений методами гидро- (90-95°C) и паровой дистилляции (110-120°C)

Table 2. Main parameters of the process of extraction of essential oils from the studied plants by hydro- (90-95°C) and steam distillation (110-120°C) methods

Название растений	Температура экстракции, °C	время, мин	Выход масло, %
Thymus v.L. 2500м (Мадм, 02.09.20)	90-95	180	1.87

Thymus v.L. 1500m (Кондара, 2019)	120	15	0.84
Thymus v.L. 1500m (Кондара, 2019)	95	15	0.75
Salvia nemorosa L Шалфей луговой (фиолетовый-Аврак 2018)	120	45	1.34
Salvia sclarea (Шалфей мускатный, розовый 2018)	120	45	1.53
Angelica ternata Rgl. Et.Schmalh (Ишим 2020)	90-95	45	1.45
Angelica ternata Rgl. Et.Schmalh (Ишим 2020)	120	10	1.72
Ziziphora (Зизифора 2019)	90-95	45	0.83
S. aromaticum (Экстракт гвоздики 80% EtOH) (04.20)	90-95	45	2.67
S. aromaticum (Экстракт гвоздики H ₂ O (04.20)	90-95		2.47
Lavandula Angustifolia (Лаванда, ИЗП НАНТ 2020)	110	120	1.25
Lavandula Angustifolia (Лаванда, ИБФРГ НАНТ 2020)	110	120	0.86

Из представленных данных видно, что среди изученных эфирноносных источников гвоздика (*S. aromaticum*) имеет высокий выход масла как при использовании в качестве растворителя 80% этанол (2.67%) или воды (2.4%). Из местных растительных источников шалфей луговой (*Salvia nemorosa* L), ишим (*Angelica ternata* Rgl. Et.Schmalh) и тимьян (*Thymus v.L.*) содержат наибольшее количество масла (1.34 - 1.78%), причем тимьян, произрастающий на горных высотах (около 2500 м) даёт высокий выход продукта (1.78%). Видно, что применение метода экстракции существенно зависит от вида растения и условий произрастания. Если метод дистилляцией паром дает больше выход для масла тимьяна, то в случае с маслом лаванды он неэффективен из-за высокой температуры процесса.

Плотность ЭМ зависит от сроков сбора сырья, способа его получения, длительности и условий хранения. Пониженная плотность ЭМ говорит о несвоевременности сбора эфирномасличного сырья и ненасыщенности его кислородными соединениями. Высокое значение указывает на осмоление масла. Результаты определения плотности и показателя преломления ЭМ представлены в таблице 3.

Таблица 3. Физические показатели эфирных масел, полученные из представителей растений, произрастающих в Таджикистане

Table 3. Physical indicators of essential oils obtained from representatives of plants growing in Tajikistan

Название растений	Плотность (d_{20}^{20}), г/мл	Показатель преломления света при 20°C
-------------------	-----------------------------------	---------------------------------------

Thymus v.L. (Тимьян обыкновенный, 2500м, Мадм, 02.09.20)	0.841	1.482
Thymus v.L. (Тимьян обыкновенный, 1500м, Кондара, 2019)	0.812	1.450
Thymus v.L. (Тимьян обыкновенный, 1500м, Кондара, 2019)	0.824	1.447
Salvia nemorosa L (Шалфей луговой, фиолетовый-Аврак, 2018)	0.785	1.384
Salvia sclarea (Шалфей мускатный, розовый, 2018)	0.843	1.480
Angelica ternata Rgl. Et.Schmalh (Ишим, 2020)	0.879	1.493
Ziziphora (1500м, Зизифора, 2019)	0.702	1.487
S. aromaticum (Гвоздика ,2020)	0.903	1.423
Lavandula Angustifolia (Лаванда, ИЗП НАНТ 2020)	0.879	1.464
Lavandula Angustifolia (Лаванда, ИБФРГ НАНТ, 2020)	0.873	1.459

Из данных таблицы следует, что все изученные масла отличаются по плотности и коэффициенту преломления света. Эти данные являются источником для справочных данных при подготовке фармакопейных статей и дальнейшего их применения в медицинской практике.

Таким образом, в связи с проведенным литературным анализом установлено, что полученные в данной работе результаты, могут служить основой потенциального применения ЭМ в качестве консервантов пищевых продуктов и создании новых лечебных, профилактических препаратов из лекарственных эфиромасличных растений Таджикистана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aziz, Z.A.A. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential – A Review / Z.A.A. Aziz, S.H.M. Ahmad Setapar, A. Karakucuk, M.M. Azim, D. Lokhat, M. Rafatullah, M. Ganash, M.A. Kamal, G.M. Ashraf//Current Drug Metabolism. – 2018. [doi: 10.2174/1389200219666180723144850](https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850)
2. Tongnuanchan, P. Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation / P. Tongnuanchan, S. Benjakul // Journal of Food Science. – 2014. [doi: 10.1111/1750-3841.12492](https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492)
3. Bilia, A.R. Essential Oils Loaded in Nanosystems: A Developing Strategy for a Successful Therapeutic Approach / A.R. Bilia, C. Guccione, B. Isacchi, C. Righeschi, F. Firenzuoli, M.C. Bergonzi // Evid. Based Complement. Altern. Med. – 2014. [doi: 10.1155/2014/651593](https://doi.org/10.1155/2014/651593)
4. Banwo, K. Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends / K. Banwo, A.O. Olojede, A.T. Adesulu-Dahunsi, D.K. Verma, M. Thakur, S. Tripathy, S. Singh et al // Food Bioscience. – 2021. [doi:10.1016/j.fbio.2021.101320](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101320)
5. Rezzoug, M. Chemical composition and bioactivity of essential oils and ethanolic extracts of *Ocimum basilicum* L. And *Thymus algeriensis* Boiss & Reut. from the Algerian Saharan Atlas / M. Rezzoug, B. Bakchiche, A. Gherib, A. Roberta, O. Kilincarslan, R. Mammadov, S.K. Bardaweel. // BMC Complementary and Alternative Medicine. – 2019. [doi: 10.1186/s12906-019-2556-y](https://doi.org/10.1186/s12906-019-2556-y)
6. Mushtaq, Z. Exploring the biochemical and antioxidant potential of ginger (*Adric*) and turmeric (*Haldi*) / Z. Mushtaq, M.T. Nadeem, M.U. Arshad, F. Saeed F, M.H. Ahmed, H.B. Ul Ain, A. Javed,

F.M. Anjum, S. Hussain // International Journal of Food Properties. – 2019. doi:10.1080/10942912.2019.1666138

7. Yamani, H.A. Antimicrobial activity of Tulsi (*Ocimum tenuiflorum*) essential oil and their major constituents against three species of bacteria / H.A. Yamani, E.C. Pang, N. Mantri, M.A. Deighton // *Frontiers in Microbiology*. – 2016. doi:10.3389/fmicb.2016.00681

8. Rai, M. Synergistic antimicrobial potential of essential oils in combination with nanoparticles: Emerging trends and future perspectives / M. Rai, P. Paralikar, P. Jogee, G. Agarkar, A.P. Ingle, M. Derita, S. Zacchino // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2017. doi: 10.1016/j.ijpharm.2017.01.013

9. Sokmen, A. Constituents of essential oil of *Origanum minutiflorum* and its in vitro antioxidant, scolicidal and anticancer activities / A. Sokmen, A.A.S. Abdel-Baki, E.S. Al-Malki, S. Al-Quraishy, H.M. Abdel-Haleem // *Journal of King Saud University Science*. – 2020. – Vol.32. – Pp.2377–2382.

10. Yang, K. Preparation and characterization of cinnamon essential oil nanocapsules and comparison of volatile components and antibacterial ability of cinnamon essential oil before and after encapsulation / K. Yang, A. Liu, A. Hu, J. Li J, Z. Zen, Y. Liu, S. Tang, C. Li // *Food Control*. – 2021. doi:10.1016/j.foodcont.2020.107783.

11. Fokou, J.B.H. Essential Oil's Chemical Composition and Pharmacological Properties / J.B.H. Fokou, P.M.J. Dongmo, F.F. Boyom // *Essential Oils - Oils of Nature*. – 2020. doi:10.5772/intechopen.86573

12. Rehman, R. Biosynthetic Factories of Essential Oils: The Aromatic Plants / R., Rehman, M. Asif Hanif // *Natural Products Chemistry & Research*. – 2016. doi: 10.4172/2329-6836.1000227

13. Tchoumboungang, F. Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun / F. Tchoumboungang // *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. – 2009. – Vol.3(1). – Pp.77-84.

14. Sahari, I.S. Essential oils from fresh fruits, fruit stalks and stem barks of four *Piper nigrum* varieties from Sarawak / I.S. Sahari, Z. Assim, F.B. Ahmad, I.B. Jusoh // *Borneo Journal of Resource Science and Technology*. – 2013. doi:10.33736/bjrst.255.2013

15. Mahmoudi, R. Phytochemistry and insecticidal effect of different parts of *Melissa officinalis* on *Tetranychus urticae* / R. Mahmoudi, K. Amini, H. Hosseinirad, S. Valizadeh, A. Kabudari, E. Aali // *Research Journal of Pharmacognosy*. – 2017. – Vol.4. – No.4. – Pp.49-56.

16. Smigielski, K. Biological properties and chemical composition of essential oils from flowers and aerial parts of lavender (*Lavandula angustifolia*) / K. Smigielski, R. Prusinowska, A. Stobiecka // *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*. – 2018. – Vol.21. – No.5. – Pp.1303-1314.

17. Pintore, G. Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. oils from Sardinia and Corsica / G. Pintore // *Flavour and Fragrance Journal*. – 2002. – Vol.17. – Pp.15-19.

18. Ngioni, A.L.A. Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L / A.L.A. Ngioni, A.N.B. Arra, E.L.C. Ereti, D.A.B. Arile, D. Sanita, V. Porcell // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2004. – Vol. 52. – Pp.8-10.

19. Hcini, K. Chemical composition of the essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) of Tunisian origin / K. Hcini, J.A. Sotomayor, M.J. Jordan, S. Bouzid // *Asian Journal of Chemistry*. – 2013. – Vol.25. – No.5. – Pp.2601-2603.

20. Russo, A. Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions / A. Russo // *Food and Chemical Toxicology*. – 2013. – Vol.55. – Pp.42-47.

21. Asressu, K.H. Chemical and antimicrobial investigations on essential oil of *Rosmarinus officinalis* leaves grown in Ethiopia and comparison with other countries / K.H. Asressu, T.K. Tesema // *Journal of Applied Pharmacy*. – 2014. – Vol.6. – No.2. – Pp.132-142.

22. SadeCka, J. Influence of two sterilisation ways, gamma-irradiation and heat treatment, on the volatiles of black pepper / J. SadeCka // *Czech Journal of Food Sciences*. – 2010. – Vol.28. – No.1. – Pp.44-52

23. Mirahmadi, S. The influence of drying treatments on the essential oil content and composition of *Melissa officinalis* L. compared with the fresh / S. Mirahmadi, R. Norouzi, M.G. Nohooji // *Journal of Medicinal Plants*. – 2017. – Vol.16. – No.61.

24. Masango, P. Cleaner production of essential oils by steam distillation / P. Masango // *J Cleaner Prod*. – 2005. – Vol.13. – Pp.833–983.

25. Писарев, Д.И. Методы выделения и анализа эфирных масел. / Д.И. Писарев, О.О. Новиков // *Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация*. 2012. № 10 (129). Выпуск 18/2, – С. 25-30

26. Chemat, F. Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction / F. Chemat, N. Rombaut, A. Meullemiestre, M. Turk // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2017. doi:10.1016/j.ifset.2017.04.016

27. Babu, K.G.D. Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) distilled by different distillation techniques / K.G.D. Babu, V.K. Kaul // *Flavour Frag J*. – 2005. – Vol.20. – Pp.222–231

28. Vian, M.A. Microwave hydrodiffusion and gravity, a new technique for extraction of essential oils / M.A. Vian, X. Fernandez, F. Visinoni, F. Chemat // *J Chromatogr A*. – 2008. [doi: 10.1016/j.chroma.2008.02.086](https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.02.086)
29. Moradi, S. Microwave-Assisted Hydro-Distillation of Essential Oil from Rosemary: Comparison with Traditional Distillation / S. Moradi, A. Fazlali, H. Hamedei // *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*. – 2018. – Vol.10. – No.1. – Pp.22-28.
30. Chen, Z. Microwave-assisted method for simultaneous hydrolysis and extraction in obtaining ellagic acid, gallic acid and essential oil from Eucalyptus globulus leaves using Brönsted acidic ionic liquid [HO₃S(CH₂)₄mim]HSO₄ / Z. Chen, F. Han, X. Kang, H. Gu, L. Yang // *Ind Crops Prod*. – 2016. – Vol.81. – Pp.152-161.
31. Thakker, M.R. Microwave assisted extraction of essential oil from the leaves of Palmarosa: Multi-response optimization and predictive modelling / M.R. Thakker, J.K. Parikh, M.A. Desai // *Ind Crops Prod*. – 2016. – Vol.86. – Pp.311-319.
32. Ng, T.B. Methods for the Characterization, Authentication, and Adulteration of Essential Oils / T.B. Ng, F.F. Fang, A.El-Din.A. Bekhit, J.H. Wong // *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. – 2016. [doi:10.1016/B978-0-12-416641-7.00002-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00002-X)
33. Лапко, И.В. Эфирные масла: методы определения подлинности и выявления фальсификации. Обзор / И.В. Лапко, Ю.Б. Аксенова, О.В. Кузнецова, С.В. Василевский и др // *Аналитика и контроль*. – 2019. Т. 23, № 4. С. 444-475. [doi: 10.15826/analitika.2019.23.4.010](https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.4.010)
34. Стандарты по ISO/TC 54. Essential oils. [Электронный ресурс]: <https://www.iso.org/ru/committee/48956/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0> (дата обращения 01.11.2019).
35. EOA Book of Standards and Specification. Essential Oil Association of U.S.A. 1978. – Pp.582.
36. Алиева, Ш.П. Экстракция эфирного масла лаванды дистилляцией паром и гидродистилляционным методом / Ш.П. Алиева, С.П. Усманова, З.К. Мухидинов // *Материалы межд. Сип. Инновационное развитие науки*. Декабрь 10, 2020, Душанбе, Таджикистан. С. 23-24.

REFERENCES

1. Aziz, Z.A.A. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential – A Review / Z.A.A. Aziz, S.H.M. Ahmad Setapar, A., Karakucuk, M.M. Azim, D. Lokhat, M. Rafatullah, M. Ganash, M.A.Kamal, G.M.Ashraf//*Current Drug Metabolism*.–2018. [doi: 10.2174/1389200219666180723144850](https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850)
2. Tongnuanchan, P. Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation / P. Tongnuanchan, S. Benjakul // *Journal of Food Science*. – 2014. [doi: 10.1111/1750-3841.12492](https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492)
3. Bilia, A.R. Essential Oils Loaded in Nanosystems: A Developing Strategy for a Successful Therapeutic Approach / A.R. Bilia, C. Guccione, B. Isacchi, C. Righeschi, F. Firenzuoli, M.C. Bergonzi // *Evid. Based Complement. Altern. Med*. – 2014. [doi: 10.1155/2014/651593](https://doi.org/10.1155/2014/651593)
4. Banwo, K. Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends / K. Banwo, A.O. Olojede, A.T. Adesulu-Dahunsi, D.K. Verma, M. Thakur, S. Tripathy, S. Singh et al // *Food Bioscience*. – 2021. [doi:10.1016/j.fbio.2021.101320](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101320)
5. Rezzoug, M. Chemical composition and bioactivity of essential oils and ethanolic extracts of *Ocimum basilicum* L. And *Thymus algeriensis* Boiss & Reut. from the Algerian Saharan Atlas / M. Rezzoug, B. Bakchiche, A. Gherib, A. Roberta, O. Kilincarslan, R. Mammadov, S.K. Bardaweel. // *BMC Complementary and Alternative Medicine*. – 2019. [doi: 10.1186/s12906-019-2556-y](https://doi.org/10.1186/s12906-019-2556-y)
6. Mushtaq, Z. Exploring the biochemical and antioxidant potential of ginger (*Adric*) and turmeric (*Haldi*) / Z. Mushtaq, M.T. Nadeem, M.U. Arshad, F. Saeed F, M.H. Ahmed, H.B. Ul Ain, A. Javed, F.M. Anjum, S. Hussain // *International Journal of Food Properties*. – 2019. [doi:10.1080/10942912.2019.1666138](https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1666138)
7. Yamani, H.A. Antimicrobial activity of Tulsi (*Ocimum tenuiflorum*) essential oil and their major constituents against three species of bacteria / H.A. Yamani, E.C. Pang, N. Mantri, M.A. Deighton // *Frontiers in Microbiology*. – 2016. [doi:10.3389/fmicb.2016.00681](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00681)
8. Rai, M. Synergistic antimicrobial potential of essential oils in combination with nanoparticles: Emerging trends and future perspectives / M. Rai, P. Paralikar, P. Jogee, G. Agarkar, A.P. Ingle, M. Derita, S. Zacchino // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2017. [doi: 10.1016/j.ijpharm.2017.01.013](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.01.013)
9. Sokmen, A. Constituents of essential oil of *Origanum minutiflorum* and its in vitro antioxidant, scolicidal and anticancer activities / A. Sokmen, A.A.S. Abdel-Baki, E.S. Al-Malki, S. Al-Quraishy, H.M. Abdel-Haleem // *Journal of King Saud University Science*. – 2020. – Vol.32. – Pp.2377–2382.
10. Yang, K. Preparation and characterization of cinnamon essential oil nanocapsules and comparison of volatile components and antibacterial ability of cinnamon essential oil before and after encapsulation / K. Yang, A. Liu, A. Hu, J. Li J, Z. Zen, Y. Liu, S. Tang, C. Li // *Food Control*. – 2021. [doi:10.1016/j.foodcont.2020.107783](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107783).

11. Fokou, J.B.H. Essential Oil's Chemical Composition and Pharmacological Properties / J.B.H. Fokou, P.M.J. Dongmo, F.F. Boyom // *Essential Oils - Oils of Nature*. – 2020. [doi:10.5772/intechopen.86573](https://doi.org/10.5772/intechopen.86573)
12. Rehman, R. Biosynthetic Factories of Essential Oils: The Aromatic Plants / R., Rehman, M. Asif Hanif // *Natural Products Chemistry & Research*. – 2016. [doi: 10.4172/2329-6836.1000227](https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000227)
13. Tchoumboungang, F. Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun / F. Tchoumboungang // *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. – 2009. – Vol.3. – No.1. – Pp.77-84.
14. Sahari, I.S. Essential oils from fresh fruits, fruit stalks and stem barks of four *Piper nigrum* varieties from Sarawak / I.S. Sahari, Z. Assim, F.B. Ahmad, I.B. Jusoh // *Borneo Journal of Resource Science and Technology*. – 2013. [doi:10.33736/bjrst.255.2013](https://doi.org/10.33736/bjrst.255.2013)
15. Mahmoudi, R. Phytochemistry and insecticidal effect of different parts of *Melissa officinalis* on *Tetranychus urticae* / R. Mahmoudi, K. Amini, H. Hosseinirad, S. Valizadeh, A. Kabudari, E. Aali // *Research Journal of Pharmacognosy*. – 2017. – Vol.4. – No.4. – Pp.49-56.
16. Smigielski, K. Biological properties and chemical composition of essential oils from flowers and aerial parts of lavender (*Lavandula angustifolia*) / K. Smigielski, R. Prusinowska, A. Stobiecka // *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*. – 2018. – Vol.21. – No.5. – Pp.1303-1314.
17. Pintore, G. Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. oils from Sardinia and Corsica / G. Pintore // *Flavour and Fragrance Journal*. – 2002. – Vol.17. – Pp.15-19.
18. Ngioni, A.L.A. Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L / A.L.A. Ngioni, A.N.B. Arra, E.L.C. Ereti, D.A.B. Arile, D. Sanita, V. Porcell // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2004. – Vol. 52. - Pp. 8-10
19. Hcini, K. Chemical composition of the essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) of Tunisian origin / K. Hcini, J.A. Sotomayor, M.J. Jordan, S. Bouzid // *Asian Journal of Chemistry*. – 2013. – Vol.25. – No.5. – Pp.2601-2603.
20. Russo, A. Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions / A. Russo // *Food and Chemical Toxicology*. – 2013. – Vol.55. – Pp.42-47.
21. Asressu, K.H. Chemical and antimicrobial investigations on essential oil of *Rosmarinus officinalis* leaves grown in Ethiopia and comparison with other countries / K.H. Asressu, T.K. Tesema // *Journal of Applied Pharmacy*. – 2014. – Vol.6. – No.2. – Pp.132-142.
22. SadeCka, J. Influence of two sterilisation ways, gamma-irradiation and heat treatment, on the volatiles of black pepper / J. SadeCka // *Czech Journal of Food Sciences*. – 2010. – Vol.28. – No.1. – Pp.44-52.
23. Mirahmadi, S. The influence of drying treatments on the essential oil content and composition of *Melissa officinalis* L. compared with the fresh / S. Mirahmadi, R. Norouzi, M.G. Nohooji // *Journal of Medicinal Plants*. – 2017. – Vol.16. – No.61.
24. Masango, P. Cleaner production of essential oils by steam distillation / P. Masango // *J Cleaner Prod*. – 2005. – Vol.13. – Pp.833-983.
25. Pisarev, D.I. Methods for isolation and analysis of essential oils / D.I. Pisarev, O.O. Novikov // *Scientific statements. Series Medicine. Pharmacy*. – 2012. – Vol.18/2. – No.10 (129). – Pp.25-30.
26. Chemat, F. Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction / F. Chemat, N. Rombaut, A. Meullemiestre, M. Turk // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2017. [doi:10.1016/j.ifset.2017.04.016](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016)
27. Babu, K.G.D. Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) distilled by different distillation techniques / K.G.D. Babu, V.K. Kaul // *Flavour Frag J*. – 2005. – Vol.20. – Pp.222-231.
28. Vian, M.A. Microwave hydrodiffusion and gravity, a new technique for extraction of essential oils / M.A. Vian, X. Fernandez, F. Visinoni, F. Chemat // *J Chromatogr A*. – 2008. [doi: 10.1016/j.chroma.2008.02.086](https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.02.086)
29. Moradi, S. Microwave-Assisted Hydro-Distillation of Essential Oil from Rosemary: Comparison with Traditional Distillation / S. Moradi, A. Fazlali, H. Hamedei // *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*. – 2018. – Vol.10. – No.1. – Pp.22-28.
30. Chen, Z. Microwave-assisted method for simultaneous hydrolysis and extraction in obtaining ellagic acid, gallic acid and essential oil from *Eucalyptus globulus* leaves using Brönsted acidic ionic liquid [HO₃S(CH₂)₄mim]HSO₄ / Z. Chen, F. Han, X. Kang, H. Gu, L. Yang // *Ind Crops Prod*. – 2016. – Vol.81. – Pp.152-161.
31. Thakker, M.R. Microwave assisted extraction of essential oil from the leaves of *Palmarosa*: Multi-response optimization and predictive modelling / M.R. Thakker, J.K. Parikh, M.A. Desai // *Ind Crops Prod*. – 2016. – Vol.86. – Pp.311-319.

32. Ng, T.B. Methods for the Characterization, Authentication, and Adulteration of Essential Oils / T.B. Ng, F.F. Fang, A.El-Din.A. Bekhit, J.H. Wong // *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. – 2016. doi:10.1016/B978-0-12-416641-7.00002-X
33. Lapko, I.V. Essential oils: methods for determining authenticity and detecting falsification. Review / I.V. Lapko, Yu.B. Aksenova, O.V. Kuznecova, S.V. Vasilevskiy // *Analytics and control*. – 2019. – V.23. – No.4. – Pp. 444-475. doi: 10.15826/analitika.2019.23.4.010
34. ISO/TC 54 standards. Essential oils. [Electronic resource]: <https://www.iso.org/ru/committee/48956/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0> (accessed 01.11.2019).
35. EOA Book of Standards and Specification. Essential Oil Association of U.S.A. 1978. – Pp. 582.
36. Alieva, Sh.R. Extraction of lavender essential oil by steam distillation and hydrodistillation method / Sh.R. Alieva, S.R. Usmanova, Z.K. Muhidinov // *Materials Int. Symp. Innovative development of science*. – 2020. – Pp. 23-24.

ТАҲЛИЛИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ФИЗИКИИ РАВҒАНҲОИ БАДАСТОМАДА АЗ РАСТАНИҲОИ ШИФОИИ ГУНОГУНИ ТОҶИКИСТОН

Равғанҳои эфирӣ (РЭ) моеъҳои омехтаи мураккаби пайвастагиҳои бухоршавандае мебошанд, ки онҳоро бо усулҳои гуногун аз узвҳои-растаниҳо истихроҷ кардан мумкин аст. Дар ин кор РЭ навҳои гуногуни растаниҳои эфирдори Тоҷикистон бо ду усули дистиллятсия: буғӣ ва гидродистиллятсия гирифта шуда, хусусиятҳои физикии онҳо низ омехта шудаанд. Зичии оптикӣ ва нишондиҳандаи шикасти рӯшноӣ дар равғанҳои эфирии растаниҳои шифобахши *Angelica ternata* Rgl Et.Schmalh (Эшим), *Thymus vulgaris* L (кокути), *Salvia nemorosa* L. (шалфеи марғзорӣ), *Lavandula Angustifolia* (лаванда), *Eugenia caryophyllata* Thunb (гвоздика) муайян карда шуд. Нишон дода шудааст, ки дар байни манбаъҳои эфирии омӯхташуда гвоздика (*S. aromaticum*) хангоми истифодаи маҳдули этаноли 80% (2,67%) ё об (2,4%) ҳамчун ҳалкунанда ҳосили баланди равған дорад. Аз сарчашмаҳои растани маҳаллӣ шалфеи марғзорӣ (*Salvia nemorosa* L), ишим (*Angelica ternata* Rgl. Et. Schmalh) ва кокутӣ (*Thymus v.L.*) микдори зиёди равғанро дар бар мегиранд (1,34-1,78%). Параметрҳои асосии физикии РЭ-ҳои барои арзёбии сифат ва ҳаққонияти онҳо муайян карда шуданд. Нишон дода шудааст, ки ҳамаи равғанҳои тадқиқшуда аз рӯи зичӣ ва нишондиҳандаҳои шикасти рӯшноӣ фарқ мекунанд. Ин натиҷаҳо манбаи маълумоти истинодӣ дар таҳияи фармакопее ва истифодаи минбаъдаи онҳо дар соҳаҳои тиб ва дорусозӣ мебошанд.

Калидвожаҳо: равғани эфирӣ, гиёҳҳои шифобахш, гидродистиллятсия, дистиллятсияи буғӣ, зичи, шикасти рӯшноӣ, иловаҳои физӣ.

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАДЖИКИСТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Эфирные масла (ЭМ) представляют собой концентрированные жидкости сложных смесей летучих соединений, которые могут быть экстрагированы с помощью различных методов, из различных частей растений. В данной работе эфирные масла разных видов эфирноносных растений Таджикистана были получены двумя доступными методами – дистилляцией паром и гидродистилляцией, также были исследованы их физические показатели. Определены оптическая плотность и показатель преломления эфирных масел лекарственных растений *Angelica ternata* Rgl. Et.Schmalh (Дудник, Эшим, Вешим-тадж), *Thymus vulgaris* L (Тимьян, Кокути-тадж.), *Salvia nemorosa* L., (Шалфей луговой), *Syzygium aromaticum* (Гвоздичное дерево), *Lavandula Angustifolia* (Лаванда), *Eugenia caryophyllata* Thunb (Гвоздика). Показано, что среди изученных эфирноносных источников гвоздика (*S. aromaticum*) имеет высокий выход масла при использовании в качестве растворителя 80% раствор этанола (2.67%) или воды (2.4%). Из местных растительных источников шалфей луговой (*Salvia nemorosa* L), ишим (*Angelica ternata* Rgl. Et.Schmalh) и тимьян (*Thymus v.L.*) содержат наибольшее количество масла (1.34 - 1.78%), причем тимьян, произрастающий на горных высотах (около 2500 м) имеет высокий выход продукта (1.78%). Были определены основные физические показатели экстрагированных ЭМ для оценки их качества и подлинности. Показано, что все изученные масла отличаются по плотности и коэффициенту преломления света. Эти результаты являются источником для справочных данных при подготовке фармакопейных статей и дальнейшего их применения в медицинской практике.

Ключевые слова: эфирное масло, лекарственные растения, гидродистилляция, дистилляция паром, плотность, показатель преломления, пищевые добавки.

ANALYSIS OF PHYSICAL PARAMETERS OF ESSENTIAL OILS OF TAJIKISTAN'S MEDICINAL PLANTS OBTAINED BY DIFFERENT METHODS

Essential oils (EO) are concentrated liquids of complex mixtures of volatile compounds that can be extracted using various methods from various parts of plants. In this work, the EO of different types of essential plants of Tajikistan were obtained by two available methods - steam distillation and hydrodistillation, and their physical characteristics were also studied. Optical density and refractive index of EO of local medicinal plants *Angelica ternata* Rgl. Et.Schmalh (*Angelica*, Eshim), *Thymus vulgaris* L. (Thyme), *Salvia nemorosa* L. (Meadow sage), *Lavandula Angustifolia* (Lavender), *Eugenia caryophyllata* Thunb (Clove) were determined. It

is shown that among the studied ether-bearing sources, clove (*S. aromaticum*) has a high oil yield when using 80% ethanol solution (2.67%) or water (2.4%) as a solvent. Of local plant sources, meadow sage (*Salvia nemorosa* L), ishim (*Angelica ternata* Rgl. Et. Schmalh) and thyme (*Thymus v.L.*) contain the largest amount of oil (1.34 - 1.78%), with thyme growing at mountain heights (about 2500 m) has a high product yield (1.78%). The main physical parameters of the extracted EOs were determined to assess their quality and authenticity. It is shown that all studied oils differ in density and light refractive index. These results are a source for reference data in the preparation of pharmacopoeia and their further application in medical practice.

Keywords: essential oil, medicinal plants, hydrodistillation, steam distillation, density, refractive index, food additives.

Маълумот дар бораи муаллифони: Алиева Шахнозобону Раджабековна – Маркази илмӣ-таҳқиқотии экология ва муҳити зисти Осӣи Марказӣ (Душанбе), химик-таҳлилгар. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯч. Айни 267. **Телефон:** (+992) 931599001. **E-mail:** sh_bonu_95@mail.ru.

Шерова Замира Умаралиевна – Институти химия ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, докторанти Ph.D. **Суроға:** 734065, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯч. Айни 299/2. **E-mail:** sh.zamira_95@mail.ru.

Джонмуродов Абдували Саломович-Институти химия ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, номзади илмҳои химия, ходими пешбари илми озмоишгоҳи «Химияи пайвастаҳои калонмолекулавӣ» **Суроға:** 734065, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯч. Айни 299/2. **E-mail:** abduvalid@mail.ru.

Усманова Сураё Раҳматжановна – Институти химия ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, номзади илмҳои химия, ходими пешбари илми озмоишгоҳи «Химияи пайвастаҳои калонмолекулавӣ». **Суроға:** 734065, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯч. Айни 299/2. **E-mail:** surayo.usmanova@gmail.com.

Муҳидинов Зайниддин Қамарович – Институти химия ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, доктори илмҳои кимиё, профессор, сарҳодим пешбари илми озмоишгоҳи «Химияи пайвастаҳои калонмолекулавӣ». **Суроға:** 734065, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯч. Айни 299/2. **Телефон:** (+992) 934884843. **E-mail:** zainy@mail.ru.

Сведение об авторах: Алиева Шахнозобону Раджабековна – Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), химик-аналитик. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни 267. **Телефон:** (+992) 931599001. **E-mail:** sh_bonu_95@mail.ru.

Шерова Замира Умаралиевна – Институт химии им. В.И.Никитина Национальной Академии наук Таджикистана, докторант Ph.D. **Адрес:** 734065, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни 299/2. **E-mail:** sh.zamira_95@mail.ru.

Джонмуродов Абдували Саломович – Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «химии высокомолекулярных соединений». **Адрес:** 734065, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни 299/2. **E-mail:** abduvalid@mail.ru.

Усманова Сураё Раҳматжановна - Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «химии высокомолекулярных соединений». **Адрес:** 734065, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни 299/2. **E-mail:** surayo.usmanova@gmail.com.

Муҳидинов Зайниддин Қамарович – Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «химии химии высокомолекулярных соединений». **Адрес:** 734065, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни 299/2. **Телефон:** (+992) 934884843. **E-mail:** zainy@mail.ru.

Information about the authors: Alieva Shakhnozabonu Radzhabekovna – Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), chemist-analyst. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni Street 267. **Phone:** (+992) 931599001. **E-mail:** sh_bonu_95@mail.ru.

Sherova Zamira Umaralievna – Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, National Academy of Sciences of Tajikistan, doctoral candidate Ph.D. **Address:** 734065, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni Street 299/2. **E-mail:** sh.zamira_95@mail.ru.

Jonmurodov Abduvali Salomovich - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, National Academy of Sciences of Tajikistan, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Chemistry of Macromolecular Compounds. **Address:** 734065, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni Street 299/2. **E-mail:** abduvalid@mail.ru.

Usmanova Surayo Rakhmatzhanovna - Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, National Academy of Sciences of Tajikistan, Candidate of Chemical Sciences, leading researcher at the Laboratory of

Chemistry of Macromolecular Compounds. **Address:** 734065, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni st. 299/2.
E-mail: surayo.usmanova@gmail.com.

Muhidinov Zainiddin Kamarovich- Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Chemistry of Macromolecular Compounds. **Address:** 734065, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni Street 299/2. **Phone:** (+992) 934884843. **E-mail:** zainy@mail.ru.

УДК: 541.115:546.47

**ПОЛУЧЕНИЕ ТРИПТОФАНСОДЕРЖАЩИХ ДИПЕПТИДОВ - ЛИГАНДОВ
КОМБИНАЦИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЦИНКА И
ЭКСТРАКТА ЗОЛОТОГО КОРНЯ**

Бобизода Г.М., Халимов М.М., Бегмуродов Р.И.

Таджикский национальный университет

Радиола розовая L., известная как «золотой корень» или «розовый корень», принадлежит к семейству растений Crassulaceae, во всем мире является ботаническим адаптогеном с различными защитными эффектами, такими как антидиабетический, противораковый, омолаживающий, кардиозащитный, и нейропротекторный эффект. Фармакологические исследования показали, что в клинической практике и экспериментальных исследованиях препараты родиолы розовой L. (в основном Софрен для инъекций и капсулы родиолы розовой L.), экстракты и активные соединения выполняют множество биологических функций, включая иммунную регуляцию, антиоксидантное действие и ингибирование пролиферации раковых клеток. Поскольку воспалительная реакция играет важную роль в патологическом процессе различных заболеваний, противовоспалительная терапия стала жизненно важным методом в лечении различных заболеваний, таких как сепсис, эндотоксемия, сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет (преимущественно СД2), нейродегенеративные заболевания и рак.

Различные экстракты золотого корня значительно улучшают гемодинамические показатели мозгового кровообращения после острой ишемии мозга [1, 2].

Современные фармацевтические исследования выявили более 140 соединений, выделенных из видов родиолы, включая флавоны, кумарины, летучие вещества, антрахинон и органические кислоты. Кроме того, исследователи обнаружили, что салидрозид присутствует во всех видах рода *Rhodiola*, а розавины (розавин, канифоль, розарин) являются специфическими соединениями *Rhodiola rosea* L. Родиола розовая содержит дубильные вещества пирогалловой группы, антрагликозиды, эфирное масло, органические кислоты, сахара, стерины, флавоноиды, микро- и макроэлементы. Проявляет свойства, стимулирующие центральную нервную систему, обменные процессы, умственную работоспособность, улучшающие память и внимание, снижающие головную боль [3].

Отсутствие терапевтических возможностей узаконивает поиск новых веществ, которые потенциально могут быть использованы для лечения алкогольной зависимости, и вещества растительного происхождения также кажутся интересной альтернативой. *Salvia miltiorrhiza*, *Hypericum perforatum*, *Pueraria lobata* привлекли большое внимание исследователей в последние годы. [4, 5].

В последние годы доступные отчеты были обобщены в двух метаанализах с выводом о том, что экстракт родиолы розовой может повышать физическую и умственную работоспособность, хотя для окончательного подтверждения его свойств необходимы дополнительные рандомизированные клинические испытания [6]. Недавно активное соединение родиолы розовой – салидрозид – ингибирует развитие алкогольной толерантности у крыс [7].

Было изучено влияние экстракта родиолы розовой на модель устойчивости к алкоголю у крыс. Толерантность к алкоголю характеризуется ослаблением преимущественно аверсивных свойств этанола вследствие многократного воздействия алкоголя [8]. Было обнаружено, что 95% этанольный экстракт этой травы облегчал НРАН у крыс [9].

Кроме того, была приготовлена биоактивная фракция с сосудорасширяющим действием с использованием макропористой адсорбционной смолы, а сосудорасширяющий активный компонент накапливался в элюирующей части с 70% этанолом (биоактивная фракция *R. algida*, названная ACRT) путем сравнения изометрических изменений натяжения с использованием силы [10]. Однако эффекты и механизмы действия этой биоактивной фракции на вызванную гипоксией легочную артериальную гипертензию неизвестны.

Другой вид родиолы – Родиола кренулата, уже много лет широко используется в качестве здоровой пищи, антидепрессанта и средства от усталости в Китае. Недавние исследования показали, что экстракт *Rhodiola crenulata* оказывает когнитивное защитное действие при лечении болезни Альцгеймера. Экстракт *Rhodiola crenulata* может быть потенциальным терапевтическим средством с несколькими целями для предотвращения прогрессирования когнитивного ухудшения при болезни Альцгеймера [11].

Были разработаны композиции триптофансодержащего дипептида изолейцил-триптофан с экстрактами ферулы и мяты перечной и подорожника

Поэтому создание композиции триптофансодержащего дипептида и экстракта родиолы розовой является актуальным и приведет к созданию новых высокоэффективных препаратов.

Материалы и методы. ВЭЖХ-анализ осуществляли с использованием хроматографа «Милихром-6» (НПАО «Научприбор») в следующих условиях обращенно-фазовой хроматографии в изократическом режиме: стальная колонка «КАХ-6-80-4» (2 мм x 80 мм; Сепарон-С18 7 мкм), подвижная фаза – ацетонитрил : 1% раствор уксусной кислоты в воде в соотношении 14:86, скорость элюирования – 100 мкл/мин, объем элюента - 2500 мкл. Детекцию веществ осуществляли при длине волны 252 нм (розавин) и 278 нм (салидрозид).

Приготовление стандартного раствора салидрозид. Около 0,025 г (точная навеска) государственного стандартного образца салидрозид (содержание основного вещества 98 %) помещают в мерную колбу

емкостью 50 мл, растворяют в небольшом количестве 95% этилового спирта, доводят 95% этиловым спиртом до метки, перемешивают.

Приготовление стандартного раствора розавина. Около 0,025 г (точная навеска) государственного стандартного образца розавина (содержание основного вещества ≥ 98 %) помещают в мерную колбу емкостью 50 мл, растворяют в небольшом количестве 95% этилового спирта при нагревании на кипящей водяной бане, доводят 95% этиловым спиртом до метки, перемешивают.

Методика одновременного количественного определения розавина и салидрозид в корневищах и корнях родиолы розовой

Около 1 г измельченного сырья (точная навеска) помещают в колбу со шлифом емкостью 100 мл, прибавляют 30 мл 70 % этанола. Колбу закрывают пробкой и взвешивают с точностью до ±0,01. Колбу присоединяют к обратному холодильнику и нагревают на кипящей водяной бане (умеренное кипение) в течение 60 мин. Затем колбу охлаждают в течение 30 мин, закрывают той же пробкой, снова взвешивают и восполняют недостающий экстрагент до первоначальной массы. Извлечение фильтруют через бумажный фильтр (синяя полоса) и затем дополнительно фильтруют через мембранный фильтр Millipore (0,45 мкм) (испытываемый раствор).

3 мкл испытываемого раствора вводят в жидкостный хроматограф «Милихром-6» с УФ-детектором и хроматографируют в следующих условиях:

<i>Хроматографические условия</i>	Колонка 80 × 2,0 мм, октадецилсилил(С18)силикагель для хроматографии, 5 или 7 мкм
-----------------------------------	---

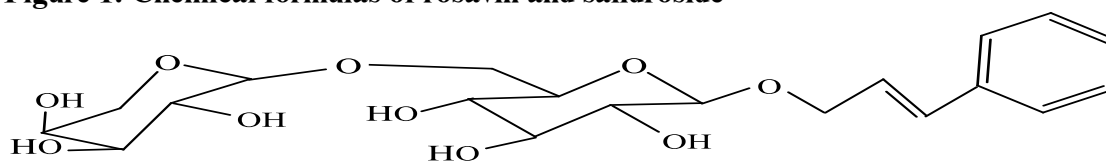
Подвижная фаза	Ацетонитрил : 1% раствор уксусной кислоты в воде в соотношении 14:86
Способ элюирования	Изократический
Скорость потока, мл/мин	0,1
Детектор	Спектрофотометрический или диодная матрица 252 нм (розавин) и 278 нм (салидрозид)
Объем вводимой пробы, мкл	3
Время хроматографирования, мин	25

Обсуждение результатов. Из литературы известны препараты, представляющие собой координационные соединения дипептидов с цинком. Именно таким соединением является тимоцин, представляющий собой такое координационное соединение. Тимоцин проявляет иммуномодулирующие свойства, но о его влиянии на активность препаратов золотого корня нет данных в научной литературе.

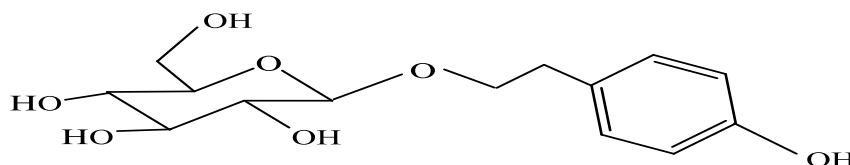
Что касается экстракта золотого корня, то основными БАС, обуславливающими фармакологическую активность сырья и препаратов родиолы розовой, являются фенолпропаноиды (розавин, розин, розарин) и фенолоспирты (тирозол, салидрозид) (рис. 1). Для них известна антиоксидантная, нейростимулирующая, адаптогенная активность. С наличием фенолоспиртов также связывают адаптогенную активность сырья и препаратов родиолы розовой [12, 13].

Рисунок 1. Химические формулы розавина и салидрозида

Figure 1. Chemical formulas of rosavin and salidroside



Розавин



Салидрозид

УФ-спектры салидрозида и розавина показаны на рис.2 и 3. УФ-спектр дипептида изолейцил-триптофан приведен на рис.4.

На УФ-спектре салидрозида обнаружены максимумы при 218, 273 нм, на УФ-спектре розавина – при 212 и 246 нм, дипептида изолейцил-триптофан – при 278 нм. На УФ-спектре водно-спиртового извлечения из золотого корня максимумы поглощения расположены при 210, 248 и 278 нм.

Рисунок 2. УФ-спектр салидрозида

Figure 2. UV spectrum of salidroside

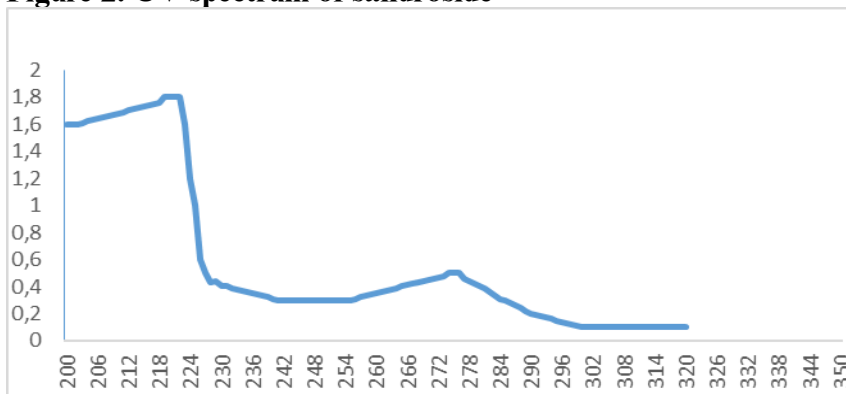


Рисунок 3 . УФ-спектр розавина

Figure 3. UV spectrum of rosavin

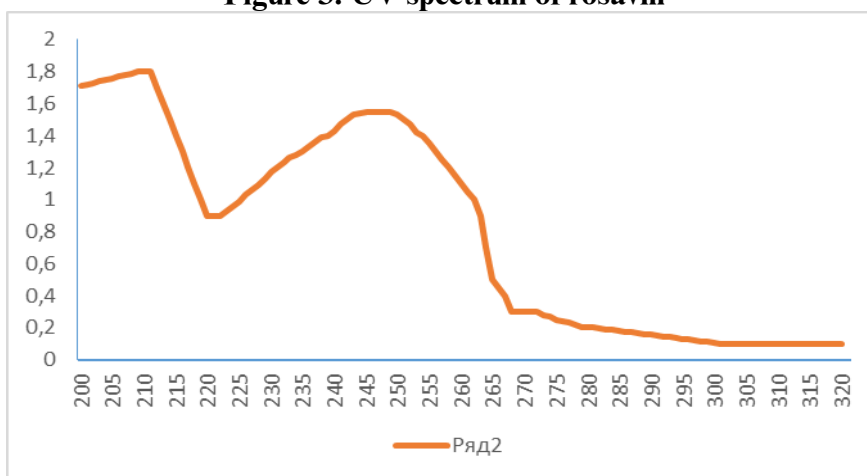
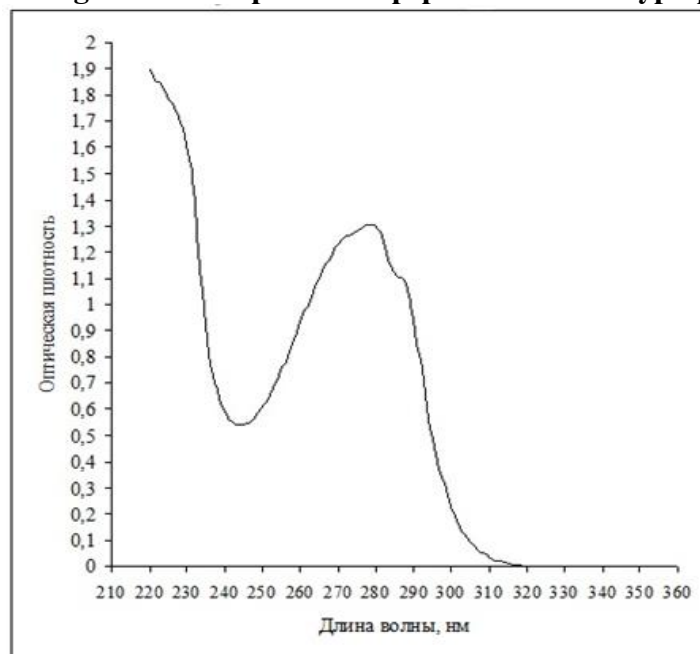


Рисунок 4 . УФ-спектр дипептида изолейцил-триптофан

Figure 4 . UV-spectrum dipetida isoleucil-tryptophane



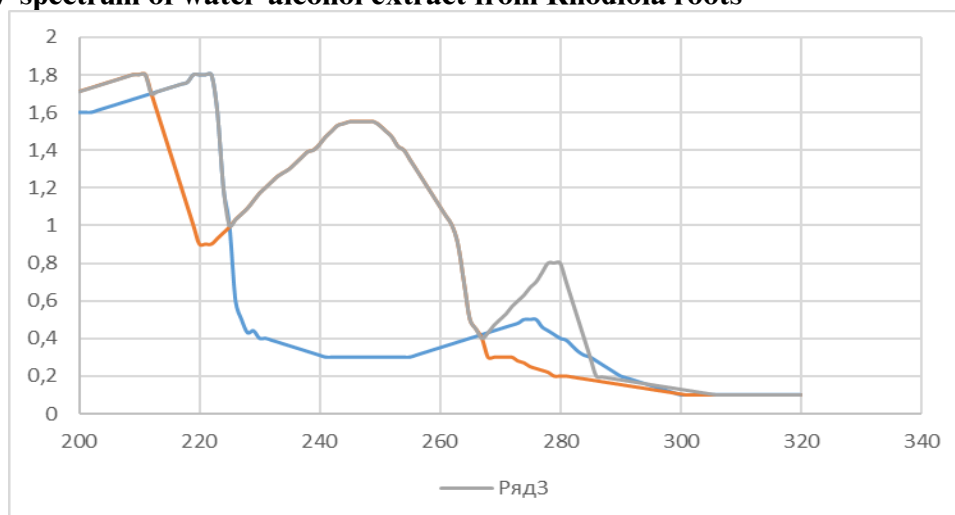
На УФ-спектре салидрозида обнаружены максимумы при 218, 273 нм, на УФ-спектре розавина – при 212 и 246 нм, дипептида изолейцил-триптофан – при 278 нм. На УФ-спектре водно-спиртового извлечения из золотого корня

максимумы поглощения расположены при 210, 248 и 278 нм дипептида изолейцил-триптофан

На УФ-спектре водно-спиртового извлечения из золотого корня (рис.5) видно, что он объединяет в себе все три спектра и, следовательно, с помощью УФ-спектроскопии определить компоненты является проблематичным.

Рисунок 5. УФ-спектр водно-спиртового извлечения из корней родиолы

Figure 5. UV spectrum of water-alcohol extract from Rhodiola roots



Стандартизация сырья и препаратов родиолы розовой в ГФ РФ XIV издания использует количественное определение содержания салидрозида и суммы гликозидов коричневого спирта в пересчете на розавин. Анализ проводят ВЭЖХ с детектированием при 219 нм – определение салидрозида и при 250 нм – определение суммы гликозидов коричневого спирта в пересчете на розавин) с применением колонки 250 × 4,0 мм, эндкепированный октадецилсилил(С18) силикагель для хроматографии, 5 мкм), подвижная фаза – ацетонитрил: фосфатный буфер (рН 7,0), элюирование в градиентном режиме с увеличением концентрации ацетонитрила от 11 % до 60 %, скорость элюирования – 1,0 мл/мин, объем вводимой пробы – 10 мкл. Время хроматографирования – 35 мин.

В то же время вызывает сомнение целесообразность определения суммы гликозидов коричневого спирта в пересчете на розавин, который менее стабилен под действием вициноазидазы в условиях хранения. Этот фермент отщепляет углеводную часть розавина и образует биологически неактивный коричневый спирт [14,15]. Поэтому при проверке качества золотого корня необходимо определять количество розавина.

Включенные в ГФ 14 методики определения розавина и салидрозида включают определение при 219 нм. Были сделаны попытки улучшить эти методики.

В фармакопейных условиях время удерживания салидрозида на хроматограммах стандартного образца салидрозида и водно-спиртового извлечения из корневищ с корнями родиолы розовой составило (2,8±0,077) и (3,0±0,070) мин соответственно (рис. 6 и 7). Для розавина соответствующие значения составили (12,4±0,080) и (12,8±0,070) мин (рис. 8 и 9).

Рисунок 6. ВЭЖХ-хроматограмма раствора стандартного образца салидрозида, 0,88 мг/мл (детекция при длине волны 278 нм)

Figure 6. HPLC chromatogram of a solution of a standard sample of salidroside, 0.88 mg / ml (detection at a wavelength of 278 nm)

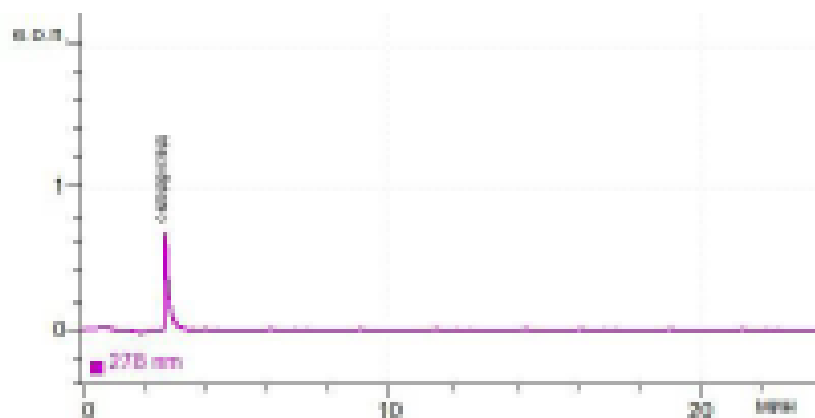


Рисунок 7. ВЭЖХ-хроматограмма исходного водно-спиртового извлечения из корневищ и корней родиолы розовой (1) и после добавления раствора стандартного образца салидрозид (2) (детекция при длине волны 278 нм)

Figure 7. HPLC chromatogram of the initial aqueous-alcoholic extract from the rhizomes and roots of *Rhodiola rosea* (1) and after adding a solution of the standard sample of salidroside (2) (detection at a wavelength of 278 nm)

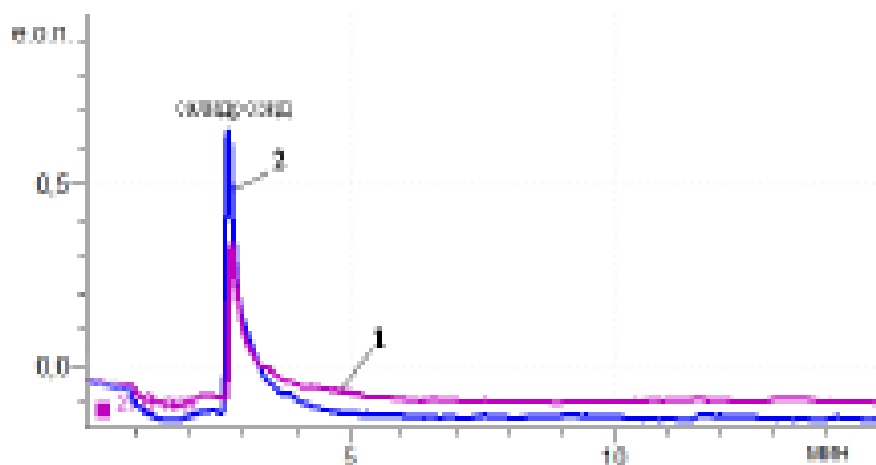


Рисунок 8. ВЭЖХ-хроматограмма раствора стандартного образца розавина, 0,60 мг/мл (детекция при длине волны 252 нм)

Figure 8. HPLC chromatogram of a solution of a standard sample of rosin, 0.60 mg / ml (detection at a wavelength of 252 nm)

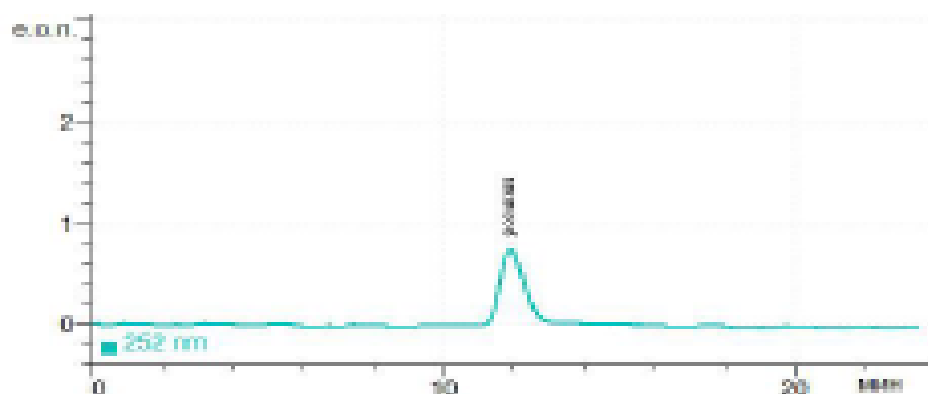
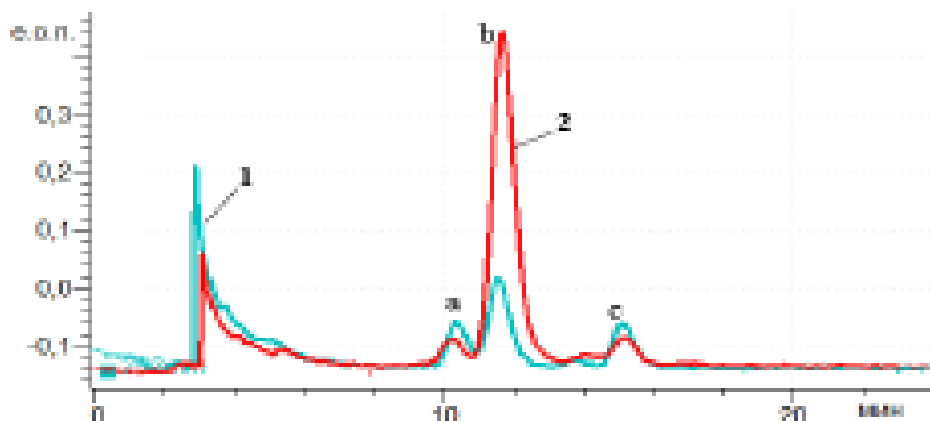


Рисунок 9. ВЭЖХ-хроматограмма исходного водно-спиртового извлечения из корневищ и корней родиолы розовой (1) и после добавления раствора стандартного образца розавина (2) (детекция при длине волны 252 нм)

Figure 9. HPLC chromatogram of the initial aqueous-alcoholic extract from the rhizomes and roots of *Rhodiola rosea* (1) and after the addition of a solution of a standard sample of rosavin (2) (detection at a wavelength of 252 nm)



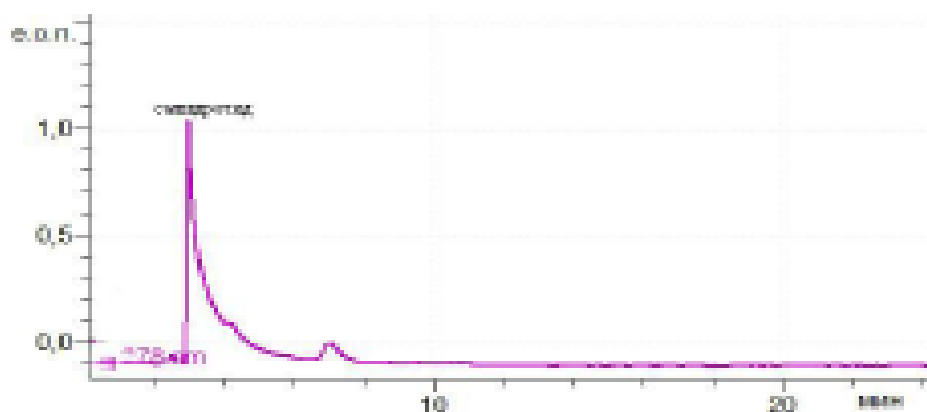
Обозначения: a – розарин; b – розавин; c – розин.

Определено, что количество розавина в золотом корне колеблется от 1,19 % \pm 0,04 % до 1,31 % \pm 0,06 % и салидрозида - от 1,57 % \pm 0,05 % до 2,79 % \pm 0,12 %, соответственно.

В аналогичных условиях в проанализированных в промышленных образцах розавин не обнаруживался, в отличие от экспериментальных образцов экстрактов, полученных в лабораторных условиях из сырья, содержащего эти компоненты (рис. 10-12).

Рисунок 10. ВЭЖХ-хроматограмма экспериментального образца экстракта жидкого из корневищ и корней родиолы розовой

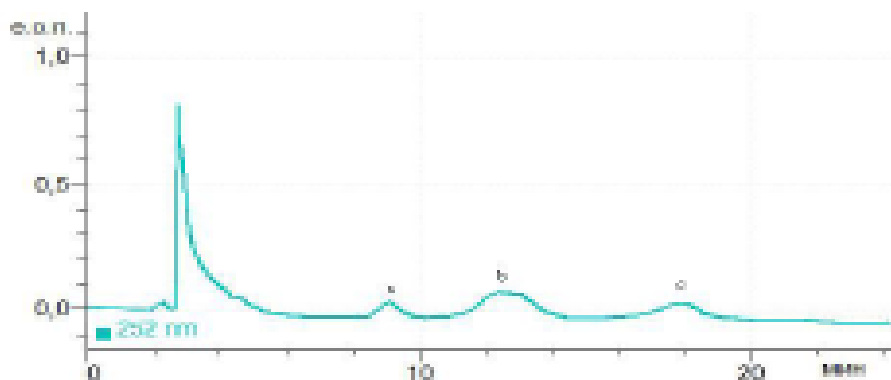
Figure 10. HPLC chromatogram of the experimental sample of the liquid extract from the rhizomes and roots of *Rhodiola rosea*



Примечание: детекция при длине волны 278 нм.

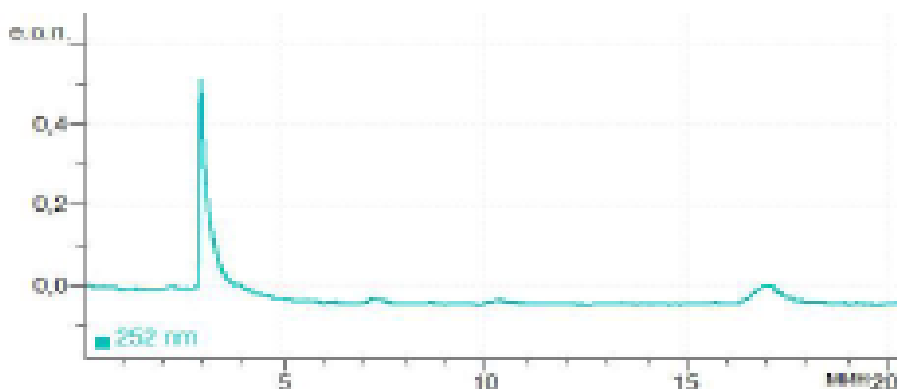
Рисунок 11. ВЭЖХ-хроматограмма экспериментального образца экстракта жидкого из корневищ и корней радиолы розовой

Figure 11. VEZH chromatogram of an experimental sample of the extract of liquid from rhizomes and roots of pink rhodiola



Примечание: a – розарин; b – розавин; c – розин; детекция при длине волны 252 нм.

Рисунок 12. Репрезентативная ВЭЖХ-хроматограмма промышленных образцов экстракта жидкого из корневищ и корней родиолы розовой
Figure 12. Representative HPLC chromatogram of industrial samples of liquid extract from rhizomes and roots of *Rhodiola rosea*



Примечание: детекция при длине волны 252 нм

Содержание розавина в образцах жидких экстрактов, варьирует от 0,21 % ± 0,03 % до 0,32 % ± 0,04 % и салидрозида от 2,13 % ± 0,05 % до 2,71 % ± 0,12 % соответственно.

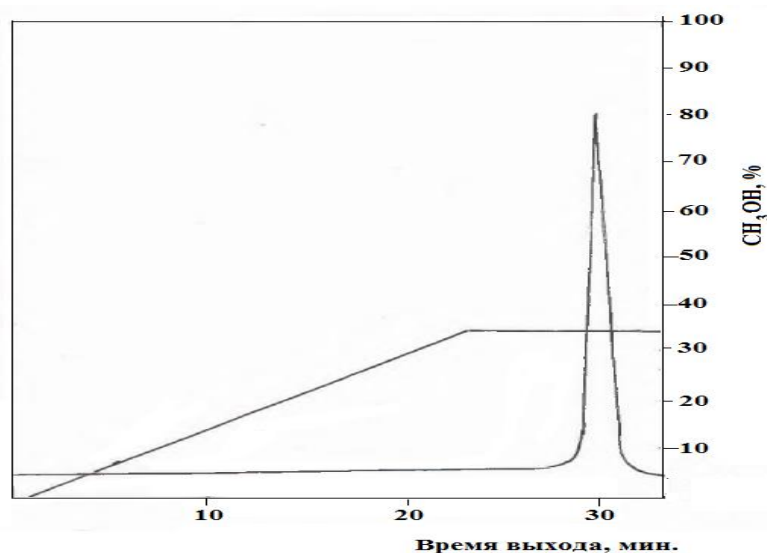
Корневища золотого корня активно прирастают на 5-ом и 6-ом годах жизни растения на фоне сохранения высокого содержания розавина, и поэтому обоснованы рекомендации по заготовке сырья 5-6-летних растений.

Следовательно, наличие розавина является надежным показателем доброкачественности сырья и препаратов родиолы розовой.

ВЭЖХ-хроматограмма триптофансодержащего дипептида приведена на рис. 13.

Рисунок 13. Аналитическая ВЭЖХ изолейцил-триптофан на колонке Ultrasphere ODS (4,4 x 50 мм) при градиенте метанола в 0,01%-ной трифторуксусной

Figure 13. Analytical HPLC isoleucyl-tryptophan on an Ultrasphere ODS column (4.4 x 50 mm) with a gradient of methanol in 0.01% trifluoroacetic



Различия во времени удерживания биологически активных компонентов родиолы розовой и триптофансодержащего дипептида обеспечивает их анализ при одновременном присутствии в препарате.

Таким образом, применение обращенно-фазовой ВЭЖХ может обеспечить одновременное определение биологически активных компонентов родиолы розовой и триптофансодержащего дипептида при их присутствии в препарате.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самбукова, Т.В. Фитопрепараты в регуляции дезадаптационных нарушений у практически здорового человека / Т.В. Самбукова, Б.В. Овчинников, А.Н. Ятманов, П.Д. Шабанов // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. – 2017. – Т.15. – №4. – С. 24-29.
2. Темирбулатова, А.М. Фармакологические исследования экстракта родиолы розовой / А.М. Темирбулатова, Л.П. Лежнева, З.Д. Хаджиева, В.Е.Погорелый, Т.Н. Глижова, Н.В. Никитина // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2015 – № 5. том 17 – С. 219-223.
3. Филонова, Г.Л. Фитокомплекс сырья напитка «Эффект» с противоукачивающими свойствами / Г.Л. Филонова, И.Л. Ковалева, Н.А. Комракова, Е.В. Никифорова // *Пиво и напитки*. – 2017. – №1. – С.18-21.
4. Maccioni, P. Reducing effect of the Chinese medicinal herb, *Salvia miltiorrhiza*, on alcohol self-administration in Sardinian alcohol-preferring rats / D. Vargiolu, M. Falchi, P. Morazzoni, A. Riva, W. Cabri, etc. // *Alcohol* – 2014 – No. 48(6). – Pp. 587-593.
5. Penetar, D. M. A single dose of kudzu extract reduces alcohol consumption in a binge drinking paradigm / D. M. Penetar, L.H. Toto, D.Y.W. Lee, S.E. Lukas SE. // *Drug Alcohol Depend.* – 2015– No. 153 – Pp. 194-200.
6. Ishaque, S. *Rhodiola rosea* for physical and mental fatigue: a systematic review / S. Ishaque, L. Shamseer, C. Bukutu, S. Vohra // *BMC Complem Altern.* – 2012. – No. 12(1). – P. 70.
7. Szulc, M. Influence of salidroside, a neuroactive compound of *Rhodiola rosea* L., on alcohol tolerance development in rats / M. Szulc, P. Mularczyk, R. Kujawski, A. Gryszczyńska, E. Kamińska, B. Geppert, etc. // *Herba Pol.* – 2018. – No. 64(1). – Pp. 22-35.
8. Crabbe, J.C. Use of animal models of alcohol-related behavior. *Handbook of clinical neurology*. \ J. C. Elsevier. – 2014. – No.125 – Pp. 71-86.
9. Lu, D.R. Effect of hypoxic pulmonary hypertension of *Rhodiola algida* var. *tangutica* and related Influence on gene expression and protein content of ET-1 and eNOS. / D.R. Lu, S.N. Jin, G.E. Zhang, Z.Z. Bai, etc. *J. Chin, Exp. Tradit, Med \ Formula*. – 2013. No.6. – Pp. 274-279.
10. Li, G. Preliminary study of active component and mechanism of *Rhodiola algida* var. *tangutica* on inducing rat pulmonary artery vasorelaxation. / G. Li, X. Gai, Z. Li, R. Chang, Y. Qi, D. Zhaxi, G. Jin, S. Nie, P. Wu, D. Lu, // *J. Qinghai Med. Coll.* – 2016. No.1 – Pp. 40-45.
11. Zhang, Xiao. Neuroprotective effects of a *Rhodiola crenulata* extract on amyloid- β peptides (A β 1-42)-induced cognitive deficits in rat models of Alzheimer's disease / Xiao. Zhang, Xuea. Wang, Hu. *Xinhua, Xiao. Chum, Li. Xintonga, Feia. Han // Phytomedicine* – (2019). No.57– Pp. 331-338.

12. Kurkin, V. A. Phenylpropanoids as the biologically active compounds of the medicinal plants and phytopharmaceuticals / V.A. Kurkin \\\ Advances in Biological Chemistry. – 2013. – No. 3 – Pp. 26-28.
13. Wang, H. Neuroprotective effects of salidroside in a mouse model of Alzheimer's disease / H. Wang etc. \\\ Cellular and Molecular Neurobiology. – 2020. – Vol 40. – No.7 – Pp. 1133-1142.
14. Куркин, В.А. Родиола розовая (золотой корень): стандартизация и создание лекарственных препаратов / В.А. Куркин. \\\ Самара: ООО «Офорт»; ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России 2020 –240 С.
15. Раджабов С.И. Взаимодействие некоторых эфиров аминокислот и дипептидов с 2 – хлорметилоксираном / С.И. Раджабов, Р.А. Мустафокулова, С.Х. Одинаев, С.Е. Асоев, М.Б. Каримзода // Вестник Таджикского национального университета. – 2017. Т-1. – №1/1. – С. 187-193.

REFERENCES

1. Sambukova, T.V. Phytopreparations in the regulation of maladjustment disorders in a practically healthy person / T.V. Sambukova, B.V. Ovchinnikov, A.N. Yatmanov, P.D. Shabanov // Reviews of clinical pharmacology and drug therapy. - 2017. - Vol.15. - No. 4. - Pp. 24-29.
2. Temirbulatova, A.M. Pharmacological studies of the extract of *Rhodiola rosea* / A. M. Temirbulatova, L.P. Lezhneva, Z.D. Khadzhiyeva, V.E. Pogorely, T.N. Glizhova, N.V. Nikitin // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2015. - No. 5.- Vol. 17 - Pp. 219-223.
3. Filonova, G.L. Phytocomplex of the raw material of the drink "Effect" with anti-swaying properties / G.L. Filonova, I.L. Kovaleva, N.A. Komrakova, E.V. Nikiforova // Beer and drinks. - 2017. - No. 1. – Pp.18-21.
4. Maccioni, P. Reducing effect of the Chinese medicinal herb, *Salvia miltiorrhiza*, on alcohol self-administration in Sardinian alcohol-preferring rats / D. Vargiolu, M. Falchi P. Morazzoni, A. Riva, W. Cabri, etc. // Alcohol – 2014 – No. 48(6). – Pp. 587-593.
5. Penetar, D. M. A single dose of kudzu extract reduces alcohol consumption in a binge drinking paradigm / D. M. Penetar, L.H. Toto, D.Y.W. Lee, S.E. Lukas SE. // Drug Alcohol Depend. – 2015– No. 153 – Pp. 194-200.
6. Ishaque, S. *Rhodiola rosea* for physical and mental fatigue: a systematic review / S. Ishaque, L. Shamseer, C. Bukutu, S. Vohra // BMC Complem Altern. – 2012. – No. 12(1). – P. 70.
7. Szulc, M. Influence of salidroside, a neuroactive compound of *Rhodiola rosea* L., on alcohol tolerance development in rats / M. Szulc, P. Mularczyk, R. Kujawski, A. Gryszyńska, E. Kamińska, B. Geppert, etc. // Herba Pol. – 2018. – No. 64(1). – Pp. 22-35.
8. Crabbe, J.C. Use of animal models of alcohol-related behavior. Handbook of clinical neurology. \\\ J. C.Crabbe \\\ Elsevier. – 2014. – No.125 – Pp. 71-86.
9. Lu, D.R. Effect of hypoxic pulmonary hypertension of *Rhodiola algida* var. *tangutica* and related Influence on gene expression and protein content of ET-1 and eNOS. / D.R. Lu, S.N. Jin, G.E. Zhang, Z.Z. Bai, etc. // J. Chin, Exp. Tradit, Med. Formula. – 2013. No.6. – Pp. 274-279.
10. Li, G. Preliminary study of active component and mechanism of *Rhodiola algida* var. *tangutica* on inducing rat pulmonary artery vasorelaxation. / G. Li, X. Gai, Z. Li, R. Chang, Y. Qi, D. Zhaxi, G. Jin, S. Nie, P.Wu, D. Lu, // J. Qinghai Med. Coll. – 2016. No.1 – Pp. 40-45.
11. Zhang, Xiao. Neuroprotective effects of a *Rhodiola crenulata* extract on amyloid- β peptides (A β 1-42) -induced cognitive deficits in rat models of Alzheimer's disease / Xiao. Zhang, Xuea. Wang, Hu. Xinhua, Xiao. Chum, Li. Xintonga, Feia. Han // Phytomedicine – (2019). No.57– Pp. 331-338.
12. Kurkin, V. A. Phenylpropanoids as the biologically active compounds of the medicinal plants and phytopharmaceuticals / V.A. Kurkin \\\ Advances in Biological Chemistry. – 2013. – No. 3 – Pp. 26-28.
13. Wang, H. Neuroprotective effects of salidroside in a mouse model of Alzheimer's disease / H. Wang etc. \\\ Cellular and Molecular Neurobiology. – 2020. – Vol 40. – No.7 – Pp. 1133-1142.
14. Kurkin, V.A. *Rhodiola rosea* (golden root): standardization and development of drugs / V.A. Kurkin. - Samara: LLC "Etching"; FSBEI HE Samara State Medical University of the Ministry of Health of Russia \\\ 2020. – P. 240.
15. Rajabov, S.I. Interaction of some amino acid esters and dipeptides with 2-chloromethyloxirane / S.I. Rajabov, R.A. Mustafokulova, S.Kh. Odinaev, S.E. Asoev, M.B. Karimzoda // Bulletin of the. Series one - 2017. - No. 1/1. – Pp. 187-193.

ХОСИЛ НАМУДАНИ ДИПЕПТИДҲОИ ТРИПТАФАНДОР-ЛИГАНДҲОИ КОМБИНАТСИЯИ ПАЙВАСТАҲОИ КООРДИНАТСИОНИИ РУҲ ВА ЭКСТРАКТИ РЕШАИ ТИЛЛОЙ

Нишон дода шуд, ки максимуми спектри ултрабунафши салидросид дар 218, 273 нм, дар спектри ултрабунафши розавин дар 212 ва 246 нм, дипептид изолейтсил-триптофан дар 278 нм пайдо шудаанд. Дар спектри ултрабунафши обию спирти муайян карда шуд, ки аз решаи тиллоӣ,

фурубарии максимуми худудҳои 210, 248 ва 278 нм ҷойгир аст. Муқаррар карда шудааст, ки дар як вақт муайян кардани дипептиди салидрозид, розавин ва изолейтсилу триптофан бо ёрии спектрофотометрия дар минтақаи намоёни спектр аз сабаби ба якдигар барбобар ҷойгир шудани спектрҳои моддаҳо имконнопазир аст. Усули хроматографияи моеи баландэфекти нишон дод, ки давраи нигоҳдории салидрозид $2,8 \pm 0,077$ даққиқа, розавин $12,4 \pm 0,080$ даққиқа, барои дипептиди изолейтсил-триптофан $30 \pm 0,85$ даққиқа буд. Ин тафовут дар вақти нигоҳдорӣ имкон медиҳад, ки ин моддаҳо дар таркибе, ки дорои экстракти решаи тиллоӣ ва дипептиди изолейтсил ва триптофан мебошанд, муайян карда шаванд. Тадқиқотҳои фармакологӣ нишон доданд, ки дар амалияи клиникӣ ва таҳқиқоти таҷрибавӣ, омодагии *Rhodiola rosea* L. бисёр вазифаҳои биологиро иҷро мекунанд, аз ҷумла танзими иммунӣ, амали антиоксидантӣ ва ҷилавгирӣ аз паҳншавии ҳуҷайраҳои саратонро низ. Инчунин, иқтибосҳои решаи тиллоӣ параметрҳои гемодинамикии гардиши мағзи сарро пас аз ишемияи шадиди мағзи сар ба таври назаррас беҳтар мекунанд.

Калидвожаҳо: салидрозид, розавин, изолейтсил, триптофан, решаи тиллоӣ, рух, экстракт, дипептид, спектр.

ПОЛУЧЕНИЕ ТРИПТОФАНСОДЕРЖАЩИХ ДИПЕПТИДОВ - ЛИГАНДОВ КОМБИНАЦИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЦИНКА И ЭКСТРАКТА ЗОЛОТОГО КОРНЯ

Показано, что на УФ-спектре салидрозиды обнаружены максимумы при 218, 273 нм, на УФ-спектре розавина – при 212 и 246 нм, дипептида изолейцил-триптофан – при 278 нм. На УФ-спектре водно-спиртового извлечения из золотого корня максимумы поглощения расположены при 210, 248 и 278 нм. Установлено, что методом спектрофотометрии в УФ- и видимой области спектра одновременное определение салидрозиды, розавина и дипептида изолейцил-триптофан невозможно из-за наложения спектров веществ друг на друга. Методом ВЭЖХ показано, что время удерживания салидрозиды составило $2,8 \pm 0,077$ мин, розавина - $12,4 \pm 0,080$ мин, для дипептида изолейцил-триптофан - $30 \pm 0,85$ мин. Такое различие во времени удерживания позволяет определить эти вещества в композиции, содержащей экстракт золотого корня и дипептида изолейцил-триптофан. Фармакологические исследования показали, что в клинической практике и экспериментальных исследованиях препараты родиолы розовой L. выполняют множество биологических функций, включая иммунную регуляцию, антиоксидантное действие и ингибирование пролиферации раковых клеток. А также экстракты золотого корня значительно улучшают гемодинамические показатели мозгового кровообращения после острой ишемии мозга.

Ключевые слова: салидрозид, розавин, изолейцил, триптофан, золотой корень, цинк, экстракт, дипептид, спектр.

OBTAINING TRYPTOFAN-CONTAINING DIPEPTIDES - LIGANDS OF A COMBINATION OF ZINC COORDINATION COMPOUNDS AND GOLDEN ROOT EXTRACT

It was shown that maxima were found on the UV spectrum of salidroside at 218, 273 nm, on the UV spectrum of rosavin - at 212 and 246 nm, isoleucyl-tryptophan dipeptide - at 278 nm. On the UV spectrum of the hydroalcoholic extract from the golden root, the absorption maxima are located at 210, 248 and 278 nm. It has been established that the simultaneous determination of salidroside, rosavin and isoleucyl-tryptophan dipeptide is impossible by spectrophotometry in the UV and visible region of the spectrum due to the superposition of the spectra of substances on each other. The HPLC method showed that the retention time of salidroside was 2.8 ± 0.077 min, rosavin - 12.4 ± 0.080 min, for isoleucyl-tryptophan dipeptide - 30 ± 0.85 min. This difference in retention time makes it possible to identify these substances in a composition containing golden root extract and isoleucyl-tryptophan dipeptide. Pharmacological studies have shown that, in clinical practice and experimental studies, preparations of *Rhodiola rosea* L. perform many biological functions, including immune regulation, antioxidant action, and inhibition of cancer cell proliferation. And also extracts of the golden root significantly improve the hemodynamic parameters of cerebral circulation after acute cerebral ischemia.

Keywords: salidroside, rosavin, isoleucyl, tryptophan, golden root, zinc, extract, dipeptide, spectrum

Маълумот дар бораи муаллифон: Бобизода Ғуломқодир Муккамал – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, доктори илмҳои биологӣ, доктори илмҳои фарматсевтӣ, профессори кафедраи химияи органикӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, х. Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 918-17-03-60. **E-mail:** bobievgm@mail.ru.

Ҳалимов Масрур Мансурович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, кафедраи химияи органикӣ, доктор Ph.D. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, х. Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 904-44-94-97, **E-mail:** halimov.masrur@mail.ru.

Бегмуродов Расулulloҳ Имомназарович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, кафедраи химияи органикӣ, магистрант. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, х.Рӯдакӣ, 17. **E-mail:** kaf.org.chem@mail.ru.

Сведения об авторах: Бобизода Ғуломқодир Муккамал - Таджикский национальный университет, доктор биологических наук, доктор фармацевтических наук, профессор кафедры

органической химии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 918-17-03-60. **E-mail:** bobievgm@mail.ru.

Халимов Масрур Мансурович – Таджикский национальный университет, кафедры органической химии, доктор Ph.D. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 904-44-94-97. **E-mail:** halimov.masrur@mail.ru.

Бегмуродов Расулulloх Имомназарович–Таджикский национальный университет, кафедры органической химии, магистрант. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, пр. Рудаки, 17. **E-mail:** kaf.org.chem@mail.ru.

Information about the authors: Bobizoda Gulomkodir Mukkamal - Tajik national university, Doctor of Biological Sciences, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of the Department of Organic Chemistry. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Ave., 17. **Phone:** (+992) 918-17-03-60. **E mail:** bobievgm@mail.ru.

Khalimov Masrur Mansurovich – Tajik national university, Department of Organic Chemistry, Doctor Ph.D. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Ave., 17. **Phone:** (+992) 904-44-94-97. **E mail:** halimov.masrur@mail.ru.

Begmurodov Rasululloh Imomnazarovich – Tajik national university, Department of Organic Chemistry, master's student. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Ave., 17. **E mail:** kaf.org.chem@mail.ru.

**ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ПОРОШКА
НЕГАШЁННОЙ ИЗВЕСТИ И ПОРОШКА ФЛЮОРИТА (МАРКИ ФК-70) В
ЗАВИСИМОСТ ОТ ВРЕМЕНИ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

Зарипов Дж.А.

*Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими

Введение. Для использованные или обеспечить известью строительство, металлургию, многочисленные отрасли химической промышленности, сельское хозяйство и т.д., необходимо организация мощных известковых заводов в Таджикистан. Такие заводы должны изготавливать различные виды продукции из известняка и извести. Они должны размещаться преимущественно у карьеров сырья и оснащается мощным высокопроизводительным оборудованием. При этом отходы одного производства могут быть использованы в качестве сырья другим производством. Тем самым будет достигнута высокая экономическая работы карьера и завода [16].

Ясно, что на таких заводах известий-кипелка в тонкомолотом виде будет лишь одним из видов выпускаемой продукции.

Сырьевой базой таких мощных известковых или флюоритовых заводов могут служить более или менее чистые известняки и чистые флюориты, поскольку многие отрасли народного хозяйства химическая промышленность, металлургия и др.) нуждаются в чистой высококальцевой извести и флюорита.

В том случае, когда сырьем являются доломиты экономически особенно выгодна организация комплексного производства извести и огнеупорна либо в этом случае все мелькие фракции сырья, являющиеся отходами при обжиге крупного камня на известь и флюорита в шахтных печах, используются в качестве основного сырья при производстве гранулированного огнеупора из доломита во во вращающихся печах [17].

При размещении предприятий, изготавливающих молотую известь или флюорита, важно учитывать не только цены на известь или флюорита, но и на снежные родственные вяжущие и невяжущие вещества, которые могут быть заменены известью или флюорита.

Например в каждом отдельном случае важно сопоставлять цены на известь и гипса, поскольку при применении извести в негашеном виде представляется возможность коренной экономии, а в ряде случаев и полной замены ею гипса.

Примероно в половине областей и республик страны гипс значительно дороже извести. По этому строить таких заводах для известий-кипелка и флюорита в тонкомолотом виде будет лишь одним из важных видов выпускаемой продукции.

Для использование негашёной молотой известью и флюорита необходимо знание техника безопасности при эксперименте.

Известковая пыль и флюорита марки ФК-70 во время эксперимента тесто, попадая на влажную кожу рук и тела, особенно на слизистые оболочки глаз, носа рта и дыхательных путей, оказывает на них раздражающее действие. Крайно того негашёного известь как комовая, так и молотая при смачивании водой может розогреваться до теипературы кипения и вызывают ожоги. По этому при работе или эксперимента с известью необходимо руководствоваться правилами техники безопасности [18, 19].

При этом следует различать три операции [18, 19]:

1. Приготовление молотой негашёной извести
2. Изготовление растворов и флюорита на основание негашёной извести
3. употребление или методы полученных растворов

Первая операция - помол негашёной извести или подробна уточнение помолу негашёной извести на учебных лабараторных работах или в лабаратории

производствах. С этой точки зрения все операции или проведения мероприятия по технике безопасности, должно наблюдат строго.

При хранении негашёная молотая известь должна быть изолирована от влаги. Следует принимать меры против распыления молотой негашёной извести при загрузке её в хранилища, а так же при погрузке и разгрузке в контейнери, бумажные мешки, крытые автомашины, железнодорожные вагоны.

Склады для использование молотой негашёной извести на стройках и на предприятиях строительных изделия материалы по правилом техники безопасности должны быт сухими, с исправными крышами, плотно закрывающимся дверями и окнами. Вокруг складов должны быт стоки для отвода воды.

При пожаре на складе или учереждения лабараторных работ, следует пользоваться безводными огнетушителями, не вызывающими гашения извести. Тушить пожар водой категорический запрещается.

Вторая операция - связана с применение негашёной молотой извести при производстве строительных растворов, флюорита, бетонов и изделий. При нанесении растворов на молотой негашёной извести на плверхность следует остерегаться брызг разогретого раствора. Во время работы рекомендуется пользоваться очками, рукавицами.

Третья операция – Использование готовых строительных растворов на основе негашеной извести не отличается от применения растворов на основе гашеной извести. Раздражающее лействие раствора из той и другой извести на кожу рук зависит от аккуратности выполнения работы и содержания рабочего инструмента в чистоте.

Многочисленные попытки авторы [1, 3] и достижения других исследователей в течение длительного времени получить флюоритовые соединения и негашёной известняка на основе калориметрических исследований твердого раствора $\text{Cu}_{1-x}\text{F}_{2+x}$ и CaO в области $T \geq 1 \text{ K}$ сообщалось в работах [3, 6, 11].

Измерения удельной теплоёмкости проводились в условиях окружающей среды, которые соответствовали условиям нагревания при получении образцов от температуры расплава до комнатной температуры. Поэтому в качестве эталона мы использовали медь, значения которой во всём измеряемом интервале температур известа и заимствована из источника [5, 6, 10].

Сохранённые данные в виде текстового файла подвергались дальнейшей математической обработке и анализу в математическом пакете OriginLab 2015 [11].

После чего измерения проводились в условиях монотонно разогрева образцов (негашёная известь и флюорита марки ФК-70) в окружающую среду, которые соответствовали условиям охлаждения расплава при получении образцов от температуры расплава до выбранной комнатной температуры. [3, 4, 13, 14].

В результате получено следующее уравнение температурной зависимости теплоемкости для негашёная известа и флюорита марки ФК-70:

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (1)$$

На рисс 1. приведён пример расчёта удельной теплоёмкости эталонного образца, исследованного известа.

Полученные данные при 511 секунд с помощью автоматизированной установки представлены в виде следующего графика [3].

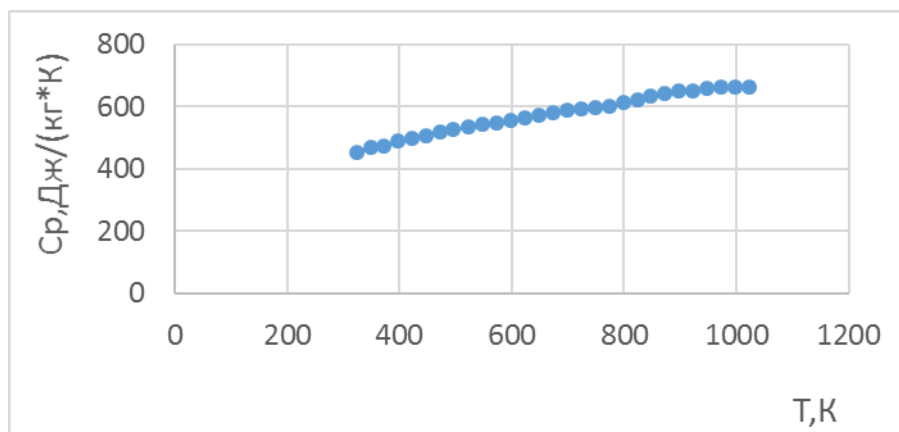


Рис.1. Удельная теплоёмкость меди (7,517гр), в зависимости от температуры [10]

Fig.1. Specific heat capacity of copper (7.517 g), depending on temperature [10]

Как видно из рисунка 1, с увеличением температуры изобарная теплоёмкость увеличивается. Уравнение кривой на рисунке 1 получено в виде:

$$C_p = 5 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 0,0002 \cdot T^2 + 0,5654T + 298,39, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} \quad (2)$$

Полученные при 476 секунд полученные данные с помощью автоматизированной установки построен следующий график:

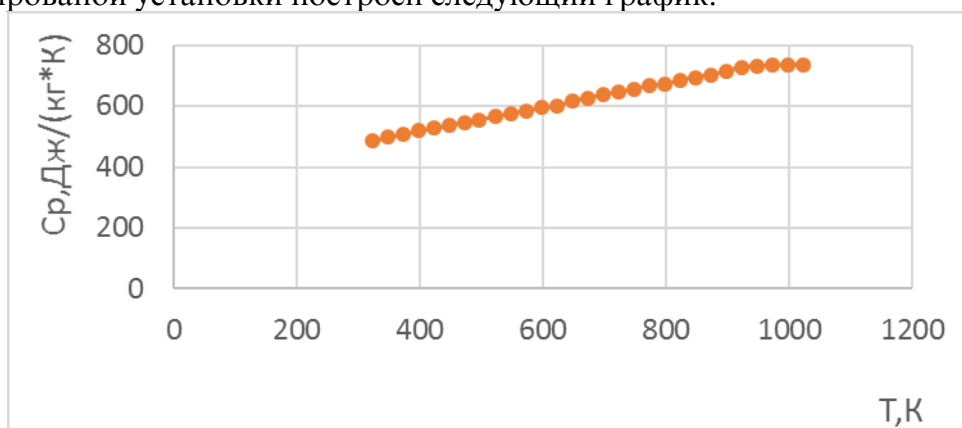


Рис.2. Теплоёмкость негашёной извести (2,541гр), в зависимости от температура [3].

Fig.2. Heat capacity of quicklime (2.541 g), depending on temperature [3]

Как видно из рисунка 2, с увеличением температуры теплоёмкость увеличивается [14].

Уравнение кривой на рисунке 2 получено в виде

$$C_p = -4 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 0,0008T^2 - 0,0463T + 439,67, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} \quad (3)$$

Согласно проведенным оценкам, выражение 3 позволяет с доверительной вероятностью 95 % определить удельную изобарную теплоёмкость флюорита в зависимости от времени с погрешностью не более 3%.

При 199 секунд получение, данное с помощью автоматизированной установки предложена в виде следующего графика (рис.3)

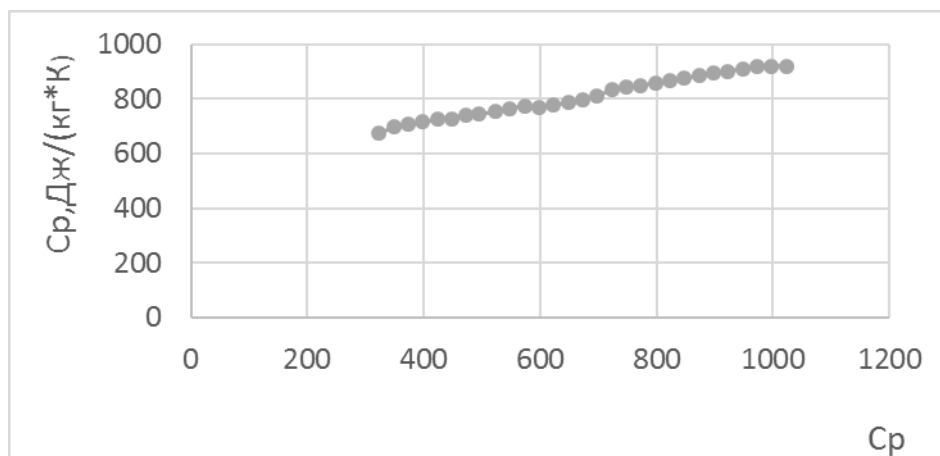


Рис.3. Теплоёмкость флюорита ((ФК - 70), SF_2 - 0,918гр) в зависимости от температура [11]

Fig.3. The heat capacity of fluorite ((FK - 70), SF_2 - 0.918g) depending on temperature [11]

Как видно из рисунка 3, с увеличением температура теплоёмкость увеличивается. Уравнение кривой на рисунке 3 получено в виде:

$$C_p = -3 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 0,0007 \cdot T^2 - 0,0764T + 654,09, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (4)$$

В результате доказанно, что общая относительная ошибка наблюдении измерения температуры в интервале от 0 до 150°C составила $\pm 2\%$, а в интервале более 150°C $\pm 3\%$. Погрешность измерения теплоемкости образец по предлагаемой методике не превышает болеем 4% по результатам двух измерений.

Согласно проведенным оценкам, выражение 4 позволяет с доверительной вероятностью 95 % определять удельную изобарную теплоёмкость флюорита в зависимости от времени с погрешностью не более 4%.

После чего проводилась выборка и исследовался каждой образцы, у которых до и после эксперимента разница в массе не превышала 3%. Удельная теплоёмкость негашёной извести и флюорита марки ФК-70 как теплоносители измерялась по методикам, описанным в [7, 9, 14, 15]. Обработка двух результатов измерений производилась с помощью программы MS Excel. Графики построены с помощью программы Sigma Plot [3]. В результате доказано, что значение коэффициента корреляции составило 0.999. Это и подтверждает правильность выбора аппроксимирующей функции.

Для приготовления порошков использованы медь марки МО9995 (ГОСТ 97172–82) [10] и негашеная известь с порошком флюорита марки (ФК-70) с последующим взвешиванием. (Рис.4)

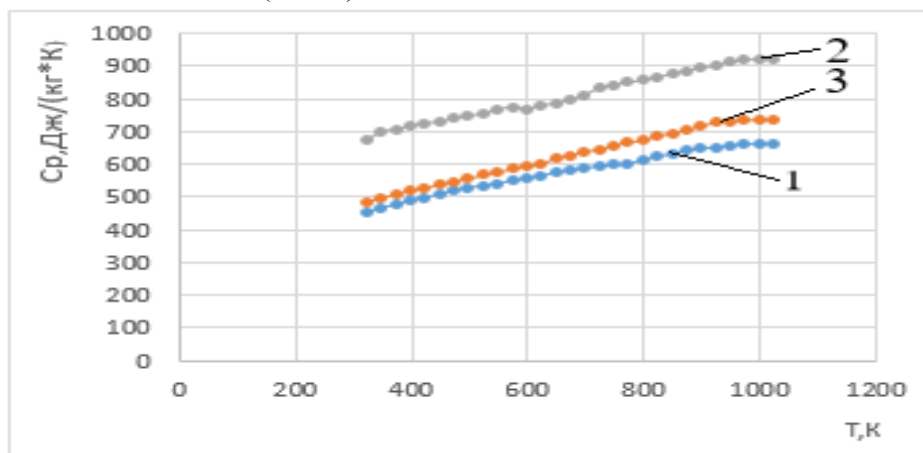


Рис. 4. Удельной изобарной теплоемкости меди 1- (CU - 7,517гр) и наш объект: флюорит марки ФК-70; 2 - (CaF₂ - 0,918гр) негашёная известь; 3 – (CaO - 2,541гр) [14, 15].

Rice. 4. Specific isobaric heat capacity of copper 1- (CU - 7.517 g) and our objects: fluorite grade FK-70; 2 - (CaF₂ - 0.918g) quicklime; 3 – (CaO - 2.541 g) [14, 15].

Как видно из рисунки 4, для исследованных порошков наблюдается рост теплоемкости от повышение температуры на 20,2–21.3% и некоторое его уменьшение (в пределах 5,85–6,47%) от содержания модифицирующего компонента кальция

Закключение. Исследованием удельной изобарной теплоемкости извести и флюорита марки (ФК - 70) установлено, что с ростом температуры теплоемкость порошка извести и флюорита увеличивается [7, 13].

На основе результатов опытов промышленного освоения производства материалов, на основные физико-химические свойства негашёной извести и флюорита марки ФК-70 в России особенно в Таджикистане, впервые в мировом техническом законодательстве созданы инструкции на эти новые строительные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучакшоев Д.С. Измерение удельной теплоёмкости стёкол на основе бората висмута в широком интервале температур / Д.С. Кучакшоев, А.Г. Джабаров, А. Холов «наука и технологии» Материалы V Международной научно-практической конференции. – Алматы, 2022. – С.117-122.
2. Дульнев Г. Н. Основы теории теплообмена / Г. Н. Дульнев, С. В. Тихонов. - СПб: СПб ГУИТМО, 2010. – 93 с.
3. Сафаров М.М. Экспериментальная установка для измерения теплоемкости гранулированных веществ в зависимости от температуры / М.М. Сафаров, Х. Маджидов, С. Зубайдов// Тез. докл. 9 Всесоюзной теплофизической школы. –Тамбов, 1988. – С.66.
4. Зиновьев В.И. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / В.И. Зиновьев. Справ.,изд. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
5. Деденко, Л. Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента/Л. Г. Деденко, В. В. Керженцев. – М., 1977. – 112 с.
6. Лукин А.Ю. Пискунов М.В. Возможность использования месторождений известняка в дорожных конструкциях/А.Ю.Лукин, В.А.Лукина, В.В. Михин// Электронный научный журнал. – 2016. №2(5). – С.4-15.
7. Буркитбаев М.М. Улучшение эксплуатационных материалов из известняка-ракушечника пропитанной полисульфидными растворами / М.М. Буркитбаев, Б.И. Массалимов, И.А. Массалимов, Ф.Х. Уракаев, Б.М. Уралбеков, А.Е. Чуйкин// Нанотехнологии в строительстве. - 2017. Т.9. №3. – С.66-80.
8. Сухорученко С.К. Денудационные процессы нуммулитового известняка центральной части Крымских пород в районе г.Симферополя/С.К. Сухорученко// Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия География. 2010. Т. 23 (62). №.1. – С.78.
9. Дайлс Ч. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / Ч. Дайлс К. Д. Инграм, Я. И. Ликлема и др. - М.: “Мир”, 1987. – С.35-63.
10. Егоров И.В. Укрепление переувлажненных связанных грунтов молотой негашенной известью / И.В. Егоров// Труды совещания по закреплению и уплотнению грунтов. – Киев, 1962. – 15 с.
11. ГОСТ 8.381-80 (СТ СЭВ 403 – 76). ГСИ. Эталоны. Государственная система обеспечения единства измерений. Способы выражения погрешностей. – М., 1980. – 9 с.
12. Гликин А.Э. Экспериментальное изучение форм роста кристаллов флюорита в гидротермальных условиях / А.Э. Гликин, Т.Г. Петров. Минер/ Сб. Львовск. гос. Унта. – 1966. № 20. вып. 3. – С. 443-446.
13. Скиннер Б.Дж. Тепловое расширение. Справочник физических констант горных пород / Б.Дж. Скиннер. – М., 1969. - С. 79-98.
14. Сафаров М.М. Влияние наноматериалов на изменение удельной изобарной теплоемкости теплоносителей / М.М.Сафаров, Х.А.Зоиров, М.А.Зарипова, С.А. Тагоев и др. //Сборник статей 9-я Международная научно-техническая конференция. Материалы и технологии 21 века. – Пенза, 2011. – С.127-130.
15. Аникин И.Н. Определение растворимости флюорита в водных растворах электролитов/ И.Н.Аникин, А.Д.Щушканов // Кристаллография. – 1963. Т. 8. № 1. – С.128-130.

16. Моргунова, О. Е. Экзотермические эффекты кристаллизации некоторых литиевых солей и образованных ими смесей / О.Е. Моргунова, Е.А. Катасонова, А. С. Трунин / Термический анализ и калориметрия (RTAC – 2013) : сб. тр. Междунар. науч.-техн. Конф. – СПб., 2013. – С. 73-75.

17. Осин Б.В. Производство стабильного огнеупора из доломита в США / Б.В. Осин // «Американская техника и промышленности». Из. №5. – 1947.

18. Памятка по техника безопасности для рабочих по приготовлению и применению молотой негашёной извести. Госстройиздат. – 1952. – С.35-62

19. Зарипов Дж.А. Правила безопасности по выполнению исследования адсорбционных свойств рентгенофазовым анализом в учебных лабораториях кафедры теплотехника и теплоэнергетика / Дж.А. Зарипов // Химия и инженерная экология-XXII. Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых учёных), посвященной 90-летию кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им.А.Н.Туполева – КАИ. – Казань, 2022. – С.301-304.

REFERENCES

1. Kuchakshoev D.S. Measurement of the specific heat capacity of glasses based on bismuth borate in a wide temperature range / D.S. Kuchakshoev, A.G. Dzhaharov, A. Kholov “science and technology” Materials of the V International Scientific and Practical Conference. – Almaty, 2022. – Pp.117-122.

2. Dulnev G. N. Fundamentals of the theory of heat and mass transfer / G. N. Dulnev, S. V. Tikhonov. - St. Petersburg: St. Petersburg GUITMO, 2010. – 93 p.

3. Safarov M.M. Experimental setup for measuring the heat capacity of granular substances depending on temperature / M.M. Safarov, Kh. Majidov, S. Zubaidov // Abstracts. report 9 All-Union Thermophysical School. – Tambov, 1988. – P.66.

4. Zinoviev V.I. Thermophysical properties of metals at high temperatures / V.I. Zinoviev. Reference, ed. – M.: Metallurgy, 1989. – 384 p.

5. Dedenko, L. G. Mathematical processing and registration of experimental results / L. G. Dedenko, V. V. Kerzhentsev. – M., 1977. – 112 p.

6. Lukin A.Yu. Piskunov M.V. Possibility of using limestone deposits in road structures / A.Yu. Lukin, V.A. Lukina, V.V. Mikhin // Electronic scientific journal. – 2016. No. 2(5). – Pp.4-15.

7. Burkitbaev M.M. Improvement of operational materials from limestone-shell rock impregnated with polysulfide solutions / M.M. Burkitbaev, B.I. Massalimov, I.A. Massalimov, F.Kh. Urakaev, B.M. Uralbekov, A.E. Chuikin // Nanotechnologies in construction. - 2017. T.9. No. 3. – Pp.66-80.

8. Sukhoruchenko S.K. Denudation processes of nummulitic limestone in the central part of the Crimean rocks in the area of Simferopol/S.K. Sukhoruchenko // Scientific notes of the Tauride National University named after. V. I. Vernadsky. Geography series. 2010. T. 23 (62). No.1. – P.78.

9. Diles Ch. Adsorption from solutions on the surface of solids / Ch. Diles K. D. Ingram, Ya. I. Liklema et al. - M.: “Mir”, 1987. – Pp.35-63.

10. Egorov I.V. Strengthening waterlogged cohesive soils with ground quicklime / I.V. Egorov // Proceedings of the meeting on consolidation and compaction of soils. – Kyiv, 1962. – 15 p.

11. GOST 8.381-80 (ST SEV 403 – 76). GSI. Standards. State system for ensuring the uniformity of measurements. Methods of expressing errors. – M., 1980. – 9 p.

12. Glikin A.E. Experimental study of growth forms of fluorite crystals in hydrothermal conditions / A.E. Glikin, T.G. Petrov. Miner/ Sat. Lvovsk. state Unta. – 1966. No. 20. issue. 3. – pp. 443-446.

13. Skinner B.J. Thermal expansion. Handbook of physical constants of rocks / B.J. Skinner. – M., 1969. – Pp.79-98.

14. Safarov M.M. The influence of nanomaterials on the change in the specific isobaric heat capacity of coolants / M.M. Safarov, Kh.A. Zoirov, M.A. Zaripova, S.A. Tagoev et al. //Collection of articles of the 9th International Scientific and Technical Conference. Materials and technologies of the 21st century. – Penza, 2011. – Pp.127-130.

15. Anikin I.N. Determination of fluorite solubility in aqueous solutions of electrolytes / I.N. Anikin, A.D. Shushkanov // Crystallography. – 1963. T. 8. No. 1. – Pp.128-130.

16. Morgunova, O. E. Exothermic effects of crystallization of some lithium salts and mixtures formed by them / O. E. Morgunova, E.A. Katasonova, A. S. Trunin / Thermal analysis and calorimetry (RTAC - 2013): collection. tr. Intl. scientific-technical Conf. – St. Petersburg, 2013. – Pp. 73-75.

17. Osin B.V. Production of stable refractory from dolomite in the USA / B.V. Osin // “American technology and industry.” From. No. 5. – 1947.

18. Safety instructions for workers on the preparation and use of ground quicklime. Gosstroyizdat. – 1952. – Pp.35-62

19. Zaripov J.A. Safety rules for carrying out research of adsorption properties by X-ray phase analysis in educational laboratories of the Department of Heat Engineering and Thermal Power Engineering / J.A. Zaripov // Chemistry and engineering ecology-XXII. Collection of proceedings of the

international scientific conference (school of young scientists), dedicated to the 90th anniversary of the Department of General Chemistry and Ecology of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI. – Kazan, 2022. – Pp.301-304.

ТАДҚИҚИ ГАРМИҒУНҶОИШИ ХОСИ ХОКАИ ОҶАКИ НОШУКУФТА ВА ХОКАИ ФЛҶООРИТ (НАМУДИ ФК-70) ВОБАСТА БА ВАҚТ ВА ҲАРОРАТ

Бо дастгоҳи тадқиқотӣ ва сабти компютерӣ ҳарорати объект дар шароити пайвастагиҳо дар ҳолати тадқиқотҳои гармкуни ва хунуқкунии доимӣ муайян карда шуд. Натиҷаҳои тадқиқот нишон доданд, ки (дар ҳудудҳои ҳарорати аз 1200К то 800К зиёдшавии гармиғунҷоиши хос 15-20% барои хокаи оҷаки ношукуфта модификатсияи мед (7,517гр), оҷаки ношукуфта (2,541гр) ва хокаи флюорит (0,918гр) бо зиёд шудани ҳарорати хокаи оҷаки ношукуфта ва флюорит (намуди ФК-70), гармиғунҷоиши хоси онҳо то 8-10% меафзояд. Натиҷаҳои тадқиқот нишон доданд, ки (дар ҳудудҳои ҳарорати аз 200К то 1200К зиёдшавии гармиғунҷоиши хос 23-25% барои хокаи флюорити аз 0,1 то 1 гр.%) бо зиёд шудани массаи хокаи флюорит гармиғунҷош хоси онҳо то 5-6% кам мешавад. Дар мақола натиҷаҳои коркарди оҷаки ношукуфта доир ба беҳтар коркардани хосиятҳои асосии таркиби бо ва оҷаксанг ҳангоми мустақкам кардани барои семент оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: гармиғунҷоиши хос, оҷаки ношукуфта, флюорит тамғаи ФК-70, ҳарорат, вақт, намӣ, хока

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ПОРОШКА НЕГАШЁННОЙ ИЗВЕСТИ И ПОРОШКА ФЛҶООРИТА (МАРКИ ФК-70) В ЗАВИСИМОСТ ОТ ВРЕМЕНИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Использована экспериментальная установка с компьютерной регистрацией температуры образца в условиях непрерывного нагревания и охлаждения. Результаты исследований показали, что в температурном интервале 1200К до 800К наблюдается увеличение удельной теплоемкости на 15–20% у порошка извести, модифицированного медье (7,517гр), негашёной известью (2,541гр), и флюоритом (0,918гр). С увеличением температуры негашёной известняка и флюорит (марки ФК-70), теплоемкость исходного порошка увеличивается до 8 – 10%. Измерение теплоемкости порошок производилось на установке, в основу работы которой положен метод С-калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой. Результаты исследований показали, что в температурном интервале 200К до 1200К наблюдается рост теплоемкости на 23–25% у порошка флюорита, модифицированного 0,1 до 1гр мас.% флюорит. С увеличением содержания флюорит теплоемкость исходного порошка уменьшается до 5 – 6%. В статье представлен результаты вленные молотой негашёной извести на удобно обрабатываемость и основные свойства переувлажненных связанных грунтов при укреплении их цементом.

Ключевые слова: удельная теплоёмкость, негашённая известь, флюорит марки ФК-70, температура, время, влаг, порошок,

MEASUREMENT OF THE SPECIFIC HEAT CAPACITY OF QUICKLIME POWDER AND FLUORITE (FK-70) POWDER DEPENDING ON TIME AND TEMPERATURE

An experimental setup with computer registration of the sample temperature under conditions of continuous heating and cooling was used. The research results showed that in the temperature range of 1200K to 800K, a specific heat capacity of 15–20% is observed for lime powder, modified honey (7.517g), quicklime (2.541g), and fluorite (0.918g), % was investigated. With an increase in the temperature of limestone and fluorite (grade FK-70), the heat capacity of the initial powder increases to 8 - 10%. The research results showed that in the temperature range of 200K to 1200K, an increase in heat capacity by 23–25% is observed for fluorite powder modified with 0.1 to 1g wt.% fluorite. With an increase in the fluorite content, the heat capacity of the initial powder decreases to 5–6%. The article presents the results of ground quicklime on the convenient workability and basic properties of waterlogged bonded soils when they are strengthened with cement.

Keywords: specific heat capacity, unslaked lime, fluorite brand FK-70, temperature, time, moisture, powder

Маълумот дар бораи муаллиф: Зарипов Чамшед Абдусаломович – Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи техника ва энергетикаи гармо. **Суроға:** 734042, Душанбе, Тоҷикистон, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10. **Тел.:** (+992) 919623326. **E-mail:** jz - 1972 @ mail.ru.

Сведения об авторе: Зарипов Джамшед Абдусаломович – Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и энергетики. Адрес: 734042, г. Душанбе, Таджикистан, проспект академиков Раҷабовых 10. Тел.: (+992) 919623326. E-mail: jz - 1972@mail.ru.

Information about the author: Zaripov Jamshed Abdusalomovich - Tajik technical university named after academician M. Osimi, candidate of technical sciences, associate professor of the department of heat engineering and energy. **Address:** 734042, Dushanbe, Tajikistan, academicians Rajabov's avenue 10. **Phone:** (+992) 919623326. **E-mail:** jz - 1972 @ mail.ru.

УДК 541. 49. 538. 214.

**СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ (II) С НЕКОТОРЫМИ
ТИОАМИДНЫМИ ЛИГАНДАМИ**

Давлатова Х.С., Азизкулова О.А., Солехова Г.Н., Джурабеков У.М.
Таджикский национальный университет

Медь является необходимым элементом для человека, животных и всех высших растений. В токе крови медь переносится главным образом белком церулоплазмином. После усваивания меди кишечником, она транспортируется к печени с помощью альбумина. Медь встречается в большом количестве в составе многих ферментов, например, в цитохром-с-оксидазе, в медь и цинк содержащем ферменте супероксид дисмутаза- гемоцианине и в белке переносящем молекулярный кислород. В крови всех головоногих и в большинстве брюхоногих моллюсков и членистоногих, медь входит в состав гемоцианина в виде имидазольного комплекса меди, роль которого аналогична роли порфиринового комплекса железа в молекуле белка гемоглобина в крови позвоночных животных. Недостаток меди в организме человека характеризуется проявлением различных заболеваний: снижается иммунитет, ухудшается усвоение железа, развивается ревматоидный артрит и т.д.

Известно, что при недостатке меди в хондро- и остеобластах снижается активность ферментных систем и замедляется белковый обмен, в результате замедляется и нарушается рост костных тканей [1-4].

Медь и его соединения являются эффективными катализаторами и находят широкое применение в химической, металлургической, электронной, нефтеперерабатывающей и др. промышленности.

В литературе известны координационные соединения меди (II) с неорганическими веществами и различными классами органических соединений и в том числе с некоторыми гетероциклическими лигандами, такие как производные тиадиазола и тиомочевины. Среды синтезированных координационных соединений меди (II), выявлены вещества, проявляющие высокую биологическую и каталитическую активность. Например, некоторые координационные соединения меди (II) рекомендованы в качестве лекарственных препаратов для лечения отдельных форм цирроза печени [5].

В этой связи, целенаправленный синтез и исследование состава и физико-химических свойств новых координационных соединений меди (II) с некоторыми производными тиомочевины и 1,2,4-триазола является актуальной задачей.

В продолжении ранее проведенных исследований представляемая работа посвящена синтезу и систематическому исследованию физико-химических свойств координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной и 3-метил-1,2,4-триазолтиолом [6-14].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Координационные соединения меди (II) с N-ацетилтиомочевинной (L) были синтезированы при мольном соотношении Cu: L от 1:0,5 до 1:6 в кислых и нейтральных средах, а соединения с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом (L¹) в среде этанола. Идентификацию полученных соединений проводили с использованием современных физико-химических методов исследования. Содержание азота, водорода, кислорода, углерода и серы определяли на приборе "vario MICRO CUBE", ионы хлора и брома гравиметрическим методом в виде труднорастворимого AgГ (Г- Cl⁻, Br⁻), а содержание меди объёмным йодометрическим методом. Рентгенофазовые исследования проводили на дифрактометре PHILIPS-PW 1700 (Cu K α -излучение, Ni-фильтр). Кондуктометрическое исследование проводили в закрытой ячейке с

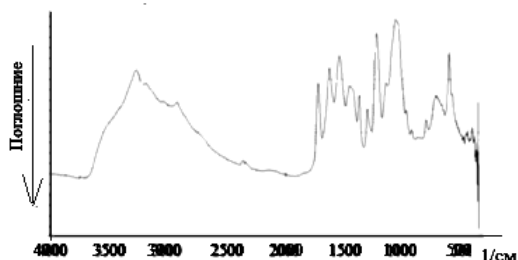
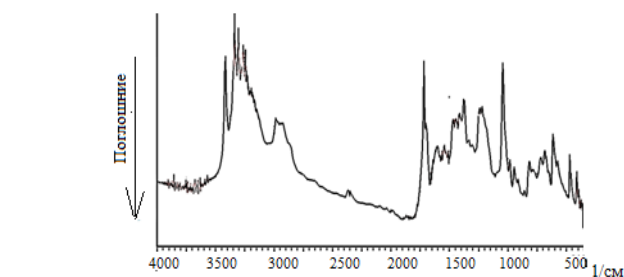
использованием моста переменного тока Р-5021 при частоте $1 \cdot 10^4$ Гц и на приборе HANNA “HI 8733 Conductivity meter”, ИК-спектры N-ацетилтиомочевины, 3-метил-1,2,4-триазолтиола и новых синтезированных координационных соединений в области $400-4000 \text{ см}^{-1}$ регистрировали на приборах “Specord IR- 75” и спектрометре “SHIMADZU” в виде суспензии в вазелине масле и таблеток с KBr. В табл. 1 представлены элементный состав новых синтезированных координационных соединений меди(II).

Таблица 1. Данные элементного анализа и предполагаемые формулы некоторых синтезированных координационных соединений меди(II) с N-ацетилтиомочевинной (L) и 3-метил-1,2,4-триазолтиолом (L¹)
Table 1. Elemental analysis data and proposed formulas of some synthesized coordination compounds of copper(II) with N-acetylthiourea (L) and 3-methyl-1,2,4-triazolethiol (L¹)

Соединение	Найдено, % / Вычислено, %					
	Cu	C	N	S	Cl	H 2O
[CuL ₂ (H ₂ O) ₂]SO ₄	14.2 / 14.8	15.8 / 16.6	11.6 / 12.9	23.3 / 22.2	-	8.9 / 8.3
[CuL ₂ (SO ₄) ₂]·2H ₂ O	11.8 / 12.1	12.9 / 13.6	9.8 / 10.6	25.1 / 24.2	-	5.3 / 6.8
[CuL(SO ₄) ₂]·2H ₂ O	14.8 / 15.6	7.8 / 8.7	5.2 / 6.8	24.8 / 23.4		7.5 / 8.7
[CuL ₂ (H ₂ O) ₂]SO ₄	16,3 / 15.0	15.6 / 16.9	18.8 / 19.7	23.1 / 22.5	-	9.3 / 8.4
[CuL ¹ SO ₄]·2H ₂ O	21.2 / 20.5	9.4 / 11.5	12.9 / 13.5	21.6 / 20.5	-	11.9/11.5
[CuL ¹ ₂ SO ₄]·2H ₂ O	16.2 / 15.0	15.5 / 16.9	18.8 / 19.7	23.6 / 22.5	-	9.2 / 8.4
[CuL ¹ ₂ (H ₂ O) ₂]Cl ₂	16.7 / 15.9	17.1 / 17.9	19.1 / 20.9	16.1 / 15.9	18.9 / 17.7	9.31 / 8.9
[CuL ¹ ₂]Cl ₂ ·2H ₂ O	16.8 / 15.9	16.2 / 17.9	20.1 / 20.9	17.1 / 15.9	18.7 / 17.7	9.1 / 8.9
[CuL ¹ ₂ Cl ₂]·2H ₂ O	16.5 / 15.9	16.3 / 17.9	19.9 / 20.9	16.4 / 15.9	18.8 / 17.7	9.4 / 8.9

Изучением ИК-спектров исходных лигандов и синтезированных координационных соединений установлен характер координации N-ацетилтиомочевины и 3-метил-1,2,4-триазолтиола к иону меди (II). На рисунке 1 (а, б) в качестве примера представлены ИК-спектры некоординированного N-ацетилтиомочевины и его координационное соединение, состава [CuL₂SO₄]·2H₂O синтезированное в нейтральной среде.

Рисунок.1. ИК-спектры N-ацетилтиомочевины (L) и его комплекса
 а). N-ацетилтиомочевина (L) б). [CuL₂SO₄]·2H₂O.
Figure.1. IR spectra of N-acetylthiourea (L) and its complex
 а). N-acetylthiourea (L) б). [CuL₂SO₄]·2H₂O.



а)

б)

Для сравнения и определения характера координации к иону меди (II) молекулы 3-метил-1,2,4-триазолтиола, на рисунке 2 приведены ИК-спектры органического лиганда (L^1) и координационного соединения состава: $[CuL_2(H_2O)_2]Cl_2$

Анализ ИК-спектров N-ацетилтиомочевинных и 3-метил-1,2,4-триазолтиольных координационных соединений составов: $[CuL_2SO_4] \cdot 2H_2O$, $[CuL_2(H_2O)_2]Cl_2$, $[CuL_2]Cl_2 \cdot 2H_2O$, $[CuL_2Cl_2] \cdot 2H_2O$ и $[CuL_2^1(H_2O)_2]SO_4$, $[CuL_2^1(SO_4)_2] \cdot 2H_2O$, $[CuL^1(SO_4)_2] \cdot 2H_2O$ показывает, что в их спектрах имеются множество интенсивных и слабых полос поглощений ответственные за различные колебания функциональных групп (C=S), (NH), (NH₂), (N-N), сульфат-ионов, молекул воды и пятичленного гетероцикла-3-метил-1,2,4-триазолтиола (L^1).

Рисунок 2. ИК-спектры 3-метил-1,2,4-триазолтиола (L^1) и его комплекса состава $[CuL_2(H_2O)_2]Cl_2$

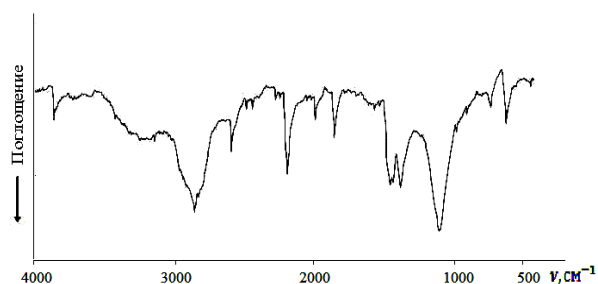
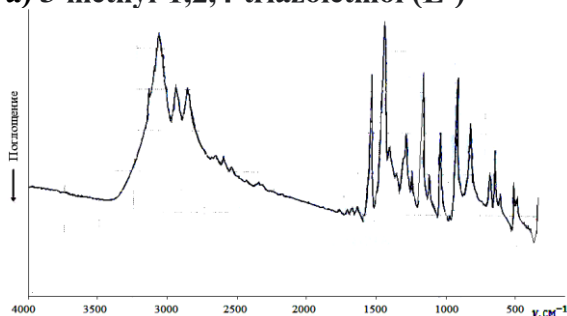
а). 3-метил-1,2,4-триазолтиол (L^1)

б). $[CuL_2(H_2O)_2]Cl_2$

Figure 2. IR spectra of 3-methyl-1,2,4-triazolethiol (L^1) and its complex $[CuL_2(H_2O)_2]Cl_2$

а) 3-methyl-1,2,4-triazolethiol (L^1)

б). $[CuL_2(H_2O)_2]Cl_2$



а)

б)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные ИК-спектроскопические исследования показывают, что в ИК-спектрах некоординированных N-ацетилтиомочевины и 3-метил-1,2,4-триазолтиола и их координационных соединений полосы поглощения связи (C=S) тионной группы с незначительной интенсивностью проявляются в области 740-1025 см⁻¹, а полосы поглощения (N-N) связи молекулы 3-метил-1,2,4-триазолтиола со средней интенсивностью смещаются в низкочастотную область на 25-45 см⁻¹ и проявляются в области 2010-2165 см⁻¹. Наблюдаемые изменения в характере полос поглощений ν (C=S), ν (NH), ν (NH₂) связей молекул N-ацетилтиомочевинны и ν (C=S), ν (NH), и ν (N-N) молекулы 3-метил-1,2,4-триазолтиола свидетельствуют об их монодентатной и бидентатной координации к иону меди (II), через донорные атомы серы тионной группы и одного из атомов азота молекулы этих лигандов. При этом, обнаружено, что в ИК спектрах N-ацетилтиомочевины полосы поглощения (NH) и (NH₂) группы с высокой интенсивностью проявляются в области 3250-3340 см⁻¹, а полоса поглощения (C=S) связи тиольной группы в области 815-1030 см⁻¹. В спектрах однозамещенных N-ацетилтиомочевинных координационных соединений составов: [CuL(H₂O)₂]SO₄, [CuL(SO₄)]·2H₂O и [CuLCl₂]·2H₂O эти характеристические полосы поглощения проявляются со средней интенсивностью в области 3220-3330 см⁻¹ и 805-1010 см⁻¹. Выявленные изменения в характере спектров координированных лигандов по сравнению со спектрами полученных координационных соединений свидетельствует о бидентатной координации молекулы N-ацетилтиомочевины к иону меди (II), посредством донорного атома серы тиольной и атомов азота иминогруппы [14-15].

Установлено, что в координационных соединениях составов: [CuL₂(H₂O)₂]SO₄, [CuL₂SO₄]·2H₂O, [CuL₂¹(H₂O)₂]Cl₂, [CuL₂¹Cl₂]·2H₂O и др. полученные при мольном соотношении Cu:L=1:2, как молекула N-ацетилтиомочевины, так и 3-метил-1,2,4-триазолтиола к иону меди (II) координируются монодентатно, через донорные атомы серы, либо одного из атомов азота.

Проведенными исследованиями показано, что в координации изученных лигандов к иону меди (II) существенный вклад вносят условия проведения эксперимента, растворитель и соотношения реагирующих компонентов.

Наличие внутренней и внешней сферы синтезированных координационных соединений меди (II) подтверждены методом кондуктометрии, изучением их молярной электрической проводимости диметилформамидных растворов, в зависимости от концентрации координационного соединения и температуры эксперимента. Выявлено, что соединения составов: [CuL(H₂O)₂]SO₄, [CuL(H₂O)₂Cl]Cl, [CuL¹(H₂O)₂]SO₄, [CuL¹(H₂O)₂Cl]Cl относятся к электролитам типа 1:1. Значение молярной электрической проводимости диметилформамидных растворов соединений составов: [CuL¹₂(H₂O)₂]Cl₂, [CuL₂¹(H₂O)₂]Cl₂ и их бромидных аналогов состава [CuL¹₂(H₂O)₂]Br₂, [CuL₂¹(H₂O)₂]Br₂ лежат в интервале 125-165 Ом⁻¹см² моль⁻¹, что является характерными для электролитов типа 1:2. Обнаружено, что среди синтезированных координационных соединений имеются и слабые электролиты. Например, значения электрической проводимости диметилформамидных растворов составов: [CuLSO₄]·2H₂O, [CuL(SO₄)₂]·2H₂O, [CuL₂]Cl₂·2H₂O, [CuL₂Cl₂]·2H₂O, имеют значения μ от 25,3 до 47,6 Ом⁻¹см²моль⁻¹, что характерно для слабых электролитов.

Таким образом, проведенными инструментальными физико-химическими исследованиями синтезированных новых координационных соединений меди (II) с органическими тиоамидными лигандами доказано, что в зависимости от условий эксперимента молекулы N-ацетилтио-мочевины и 3-

метил-1,2,4-триазолтиола к иону комплексообразователя (меди (II)) координируются как монодентатно, посредством донорного атома серы, так и бидентатно, через атомы серы и азота иминной (NH), либо аминной (NH₂) группы. Также показано, что в нейтральной среде молекула 3-метил-1,2,4-триазолтиола в зависимости от соотношения взаимодействующих компонентов координируется, монодентатно посредством атома серы тиольной группы, а при соотношении Cu:L=1:1 бидентатно-мостиковым способом, используя атомы азота (N₁) и (N₂).

ВЫВОДЫ

Впервые синтезированы и исследованы физико-химические свойства новых координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной (L) и 3-метил-1,2,4-триазолтиолом (L¹) при мольном соотношении Cu: (L, L¹) от 1:0,5 до 1:6 в кислых и нейтральных средах, а соединения с 3-метил-1,2,4-триазолтиолом (L¹) в среде этанола.

Установлено, что в координационных соединениях, полученных при мольном соотношении Cu:L=1:2, как молекула N-ацетилтиомочевинной, так и 3-метил-1,2,4-триазолтиола к иону меди (II) координируются монодентатно, через донорные атомы серы, либо одного из атомов азота, а при соотношении Cu:L=1:1 бидентатно-мостиковым способом, используя атомы азота (N₁) и (N₂).

Литература

1. Бондаренко, В.М. Микроэлементы и инфекция /В.М. Бондаренко, В.Ф. Чубуков//Журнал микробиологии, эпидемиологии, иммунобиологии. -1987. -№11. – С. 118-126.
2. Машковский, М.Д. Лекарственные средства: пособие для врачей. - 14-е изд., перераб., испр. и доп. - М.: ООО «Издательство Новая волна», 2002. – 540 с.
3. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека /А.И.Войнар. – М.: Высшая школа, 1960. – 544 с.
4. Ивановский В.И. Химия гетероциклических соединений/В.И.Ивановский. – М.: Высшая школа, 1978. – 558 с.
5. Степин, С.Г. Перспективные лекарственные препараты на основе металлов и их соединений / С.Г. Степин, Е.А. Дикусар, В.А. Журба // Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - Санкт-Петербург, 2016. – С. 595-598.
6. Давлатова Х.С. Синтез и ИК- спектроскопическое исследование координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной / Х.С. Давлатова, О.А. Азизкулова, У.М. Джурабеков // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. № 1. - С. 157-167.
7. Давлатова Х.С. Синтез и исследование координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной. / Х.С. Давлатова, О.А. Азизкулова, У.М. Джурабеков // Академический журнал Западной Сибири. – 2015. Т. 11. №1(56). – С. 121.
8. Давлатова Х.С. Физико-химические свойства координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной. / Х.С. Давлатова, У.М. Джурабеков, О.А. Азизкулова // Наука и инновация – 2014. №1. – С.103-105.
9. Азизкулова О.А. Синтез и исследование координационных соединений меди (II) с 1,2,4-триазолтиолом-5 / О.А. Азизкулова, У.М. Джурабеков// Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2011. №1(142). – С.60-66.
10. Джурабеков У.М. ИК-спектры координационных соединений меди (II) с 1,2,4-триазолтиолом-5 и 3-метил-1,2,4-триазолтиолом-5 / У.М. Джурабеков, О.А. Азизкулова, Х.С. Давлатова // Вестник Таджикского национального университета. - 2015. - №1/2(360). – С. 183-185.
11. Давлатова Х.С. Исследование процессов термического превращение координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной. / Х.С. Давлатова, О.А. Азизкулова, У.М. Джурабеков // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. № 4. – С.197-202.
12. Азизкулова О.А. Координационные соединения меди (II) с 3-метил- 1,2,4-триазолтиолом-5 и 1-формил-3-тиосемикарбазидом / О.А. Азизкулова, У.М. Джурабеков, Г.Н. Солехова, Г.Х. Мадсманова, Х.С. Давлатова, А.Ш. Эгамбердиев // В сборнике: Вопросы физической и коллоидной химии. Материалы IV Международной конференции, посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Хаида Мухсиновича Якубова и Зухуриддина Нуриддиновича Юсуфова. – 2019. – С.57-60.

13. Азизкулова, О. А. Координационные соединения меди (II) с N-ацетилтиомочевины // О.А. Азизкулова, Х.С. Давлатова, У.М. Джурабеков // Доклады АН Республики Таджикистан - 2015. - Т. 58. - №5. – С.403-407.

14. Давлатова Х.С. Рентгенографические исследования координационных соединений меди (II) с N-ацетилтиомочевинной. / Х.С. Давлатова, О.А. Азизкулова, У.М. Джурабеков // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ, посвященной «5500-летию древнего Саразма», «700-летию выдающегося таджикского поэта Камола Худжанди» и «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)». – Душанбе, 2020. – С.204-205.

15. Накамото, К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М.: Мир, 1991. – С.253-284.

REFERENCES

1. Bondarenko, V.M. Microelements and infection / V.M. Bondarenko, V.F. Chubukov//Journal of microbiology, epidemiology, immunobiology. -1987. -No. 11. – Pp. 118-126.

2. Mashkovsky, M.D. Medicines: a manual for doctors. - 14th ed., revised, corrected. and additional - М.: New Wave Publishing House LLC, 2002. – 540 p.

3. Voinar A.I. Biological role of microelements in the body of animals and humans / A.I. Voinar. – М.: Higher School, 1960. – 544 p.

4. Ivansky V.I. Chemistry of heterocyclic compounds/V.I. Ivansky. – М.: Higher School, 1978. – 558 p.

5. Stepin, S.G. Promising drugs based on metals and their compounds / S.G. Stepin, E.A. Dikusar, V.A. Zhurba // Collection of materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation. - St. Petersburg, 2016. – Pp. 595-598.

6. Davlatova Kh.S. Synthesis and IR spectroscopic study of coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea / Kh.S. Davlatova, O.A. Azizkulova, U.M. Jurabekov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. – 2021. No. 1. - Pp. 157-167.

7. Davlatova Kh.S. Synthesis and study of coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea. / H.S. Davlatova, O.A. Azizkulova, U.M. Dzhurabekov // Academic journal of Western Siberia. – 2015. Т. 11. No. 1(56). – P. 121.

8. Davlatova Kh.S. Physicochemical properties of coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea. / H.S. Davlatova, U.M. Jurabekov, O.A. Azizkulova // Science and Innovation – 2014. No. 1. – Pp.103-105.

9. Azizkulova O.A. Synthesis and study of coordination compounds of copper (II) with 1,2,4-triazolethiol-5 / O.A. Azizkulova, U.M. Jurabekov // News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of physical, mathematical, chemical, geological and technical sciences. - 2011. No. 1(142). – Pp.60-66.

10. Dzhurabekov U.M. IR spectra of coordination compounds of copper (II) with 1,2,4-triazolethiol-5 and 3-methyl-1,2,4-triazolethiol-5 / U.M. Jurabekov, O.A. Azizkulova, Kh.S. Davlatova // Bulletin of the Tajik National University. - 2015. - No. 1/2(360). – Pp. 183-185.

11. Davlatova Kh.S. Study of the processes of thermal transformation of coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea. / H.S. Davlatova, O.A. Azizkulova, U.M. Jurabekov // Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series. – 2018. No. 4. – Pp.197-202.

12. Azizkulova O.A. Coordination compounds of copper (II) with 3-methyl-1,2,4-triazolethiol-5 and 1-formyl-3-thiosemicarbazide / O.A. Azizkulova, U.M. Dzhurabekov, G.N. Solekhova, G.Kh. Madsmanova, Kh.S. Davlatova, A.Sh. Egamberdiev // In the collection: Questions of physical and colloidal chemistry. Materials of the IV International Conference dedicated to the memory of Doctors of Chemical Sciences, Professors Khamid Mukhsinovich Yakubov and Zuhuriddin Nuriddinovich Yusufov. – 2019. – Pp.57-60.

13. Azizkulova, O. A. Coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea // O.A. Azizkulova, Kh.S. Davlatova, U.M. Jurabekov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan - 2015. - Т. 58. - No. 5. – Pp. 403-407.

14. Davlatova Kh.S. X-ray studies of coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea. / H.S. Davlatova, O.A. Azizkulova, U.M. Dzhurabekov // Materials of the Republican scientific and theoretical conference of teaching staff, staff and students of TNU, dedicated to the “5500th anniversary of ancient Sarazm”, “700th anniversary of the outstanding Tajik poet Kamol Khujandi” and “20th anniversary of the study and development of natural, precise and mathematical sciences in the field of science and education (2020-2040)”. – Dushanbe, 2020. – Pp.204-205.

15. Nakamoto, K. IR spectra and Raman spectra of inorganic and coordination compounds / K. Nakamoto. – М.: Мир, 1991. – Pp.253-284.

СИНТЕЗ ВА ТАҲҚИҚИ ҲОСИЯТҲОИ ФИЗИКӢ-ХИМИЯВИИ ПАЙВАСТАҲОИ КООРДИНАТСИОНИИ МИС (II) БО БАЪЗЕ ЛИГАНДҲОИ ТИОАМИДИ

Синтези пайвастаҳои координатсионии мис (II) бо N-ацетилтиомочевина ва 3-метил-1,2,4-триазолтиол дар муҳитҳои нейтралӣ (этанол) ва 6 мол/л кислотаи хлорид дар таносубҳои Cu:L аз 1:0,5 то 1:6 иҷро карда шудааст. Пайвастаҳои координатсионии нави ҳосилкардашуда бо истифодаи усулҳои ҳозиразамони физикӣ - химиявӣ таҳқиқ шудаанд. Миқдори атомҳои нитроген, гидроген, оксиген, карбон ва сулфур дар асбоби “vario MICRO CUBE”, ионҳои хлор ва бром бо усули гравиметрӣ ба намуди таҳшини бадҳалшавандаи AgГ (Г- Cl-, Br-), мис бо усули йодометрӣ муайян карда шудаанд. Таҳқиқҳои рентгенофазавӣ дар дифрактометре PHILIPS-PW 1700 (Cu K α -излучение, Ni-фильтр) гузаронида шудаанд. Таҳқиқотҳои кондуктометрӣ дар зарфи герметикӣ (маҳкам) бо истифодаи кўпруки гузаронандаи қувваи чараён P-5021- бо зудии 1·10⁴ Гц дар асбоби HANNA “HI 8733 Conductivity meter” гузаронида шудааст. Спектрҳои инфрасурхи моддаҳои аввала ва пайвастаҳои координатсионии ҳосилкардашуда дар асбоби “Specord-IR-75” дар ҳудудҳои аз 400 то 4000 см⁻¹ ба намуди ҳабл (таблетка) бо KBr ва дар рағани вазелин гирифта шудаанд. Дар асоси таҳқиқоти гузаронидашуда муайян карда шуд, ки молекулаҳои N-ацетилтиомочевина ва 3-метил-1,2,4-триазолтиол бо ионҳои мис (II) монодентатӣ, тавассути атоми сулфури донорӣ, ва ё бо атоми нитрогени гурӯҳи имин (NH) ё амин (NH₂) ба тариқи бидентатӣ координатсия мешаванд. Дар айни замон дар муҳити нейтралӣ молекулаи 3-метил-1,2,4-триазолтиол вобаста ба таносуби компонентҳои ба ҳам таъсиркунанда тавассути атоми сулфури тиолӣ ба тариқи монодентатӣ ва дар таносуби Cu : L = 1: 1 бидентатӣ- купрукчавӣ бо истифодаи атомҳои нитрогени (N¹) ва (N²)-и молекулаи лиганди гетероциклӣ координатсия мешавад.

Калимаҳои калидӣ: мис, N-ацетилтиомочевина, 3-метил-1,2,4-триазолтиол, пайвастаҳои координатсионӣ, тавлиф, таҳлили элементии химиявӣ, спектрҳои инфрасурх, чараёнгузаронии молярӣ, таҳлили НР, монодентатӣ, бидентатӣ.

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ (II) С НЕКОТОРЫМИ ТИОАМИДНЫМИ ЛИГАНДАМИ

Синтез координационных соединений меди (II) с N-ацетилтио-мочевинной и 3-метил-1,2,4-триазолтиолом осуществляли в нейтральной (этанол) среде и 6 моль/л хлороводородной кислоты при мольном соотношении Cu:L от 1:0,5 до 1:6. Идентификацию состава полученных соединений проводили с использованием современных физико-химических методов исследования. Содержание азота, водорода, кислорода, углерода и серы определяли на приборе “vario MICRO CUBE”, ионы хлора и брома гравиметрическим методом в виде труднорастворимого AgГ (Г- Cl-, Br-), а содержание меди объёмным йодометрическим методом. Рентгенофазовые исследования проводили на дифрактометре PHILIPS-PW 1700 (Cu K α -излучение, Ni-фильтр). Кондуктометрическое исследование проводили в закрытой ячейке с использованием моста переменного тока P-5021 при частоте 1·10⁴ Гц и на приборе HANNA “HI 8733 Conductivity meter”, ИК-спектры N-ацетилтиомочевины и 3-метил-1,2,4-триазолтиола и синтезированных координационных соединений в области 400-4000 см⁻¹ регистрировали на приборах “Specord IR- 75” и спектрометре “SHIMADZU” в виде суспензии в вазелиновом масле и таблеток с KBr. На основе проведенных исследований установлено, что молекулы N-ацетилтиомочевины и 3-метил-1,2,4-триазолтиола к иону меди (II) могут координироваться как монодентатно, через донорный атом серы, так и бидентатно, посредством атома серы и азота иминной (NH), либо аминной (NH₂) группы. При этом, в нейтральной среде молекула 3-метил-1,2,4-триазолтиола в зависимости от соотношения взаимодействующих компонентов координируется монодентатно, посредством атома серы тиольной группы, а при соотношении Cu:L=1:1 бидентатно-мостиковым способом, используя атомов азота (N₁) и (N₂) молекулы гетероцикла.

Ключевые слова: медь, N-ацетилтиомочевина, 3-метил-1,2,4-триазолтиол, координационные соединения, состав, элементный анализ, ИК-спектры, молярная электропроводность, РФ-анализ, монодентатно, бидентатно.

SYNTHESIS AND PHYSICAL-CHEMICAL STUDIES OF COPPER(II) COORDINATION COMPOUNDS WITH SOME THIOAMIDE LIGANDS

The synthesis of coordination compounds of copper (II) with N-acetylthiourea and 3-methyl-1,2,4-triazolethiol was carried out in a neutral (ethanol) medium and 6 mol/l hydrochloric acid at a Cu:L molar ratio of 1:0, 5 to 1:6. Identification of the composition of the obtained compounds was carried out using modern physicochemical research methods. The content of nitrogen, hydrogen, oxygen, carbon and sulfur was determined on a “vario MICRO CUBE” device, chlorine and bromine ions were determined by the gravimetric method in the form of sparingly soluble AgG (G-Cl-, Br-), and the copper content was determined by the volumetric iodometric method. X-ray phase studies were carried out on a PHILIPS-PW 1700 diffractometer (Cu K α radiation, Ni filter). Conductometric studies were carried out in a closed cell using an AC bridge P-5021 at a frequency of 1·10⁴ Hz and on a HANNA “HI 8733 Conductivity meter” instrument, IR spectra of N-acetylthiourea and 3-methyl-1,2,4-triazolethiol and The synthesized coordination compounds in the region of 400-4000 cm⁻¹ were recorded on Specord IR-75 instruments and a SHIMADZU spectrometer in the form of a suspension in liquid paraffin and tablets with KBr. Based on the studies carried out, it was established that the molecules of N-acetylthiourea and 3-methyl-1,2,4-

triazolethiol to the copper (II) ion can be coordinated both monodentately, through the donor sulfur atom, and bidentately, through the sulfur and nitrogen atoms of the imine (NH), or amine (NH₂) group. At the same time, in a neutral environment, the molecule of 3-methyl-1,2,4-triazolethiol, depending on the ratio of interacting components, is coordinated monodentately, through the sulfur atom of the thiol group, and at a ratio Cu:L = 1:1, in a bidentate-bridge manner, using atoms nitrogen (N1) and (N2) heterocycle molecules.

Key words: copper, N-acetylthiourea, 3-methyl-1,2,4-triazolethiol, coordination compounds, composition, elemental analysis, IR spectra, molar electrical conductivity, XRF analysis, monodentate, bidentate.

Маълумот дар бораи муаллифон: Давлатова Хатича Саидхоҷаевна - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои химия, муаллими калони кафедраи технологияи истеҳсолоти химиявӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 918218755. **E-mail:** davlatovakh011002@mail.ru.

Азизкулова Онаҷон Азизкуловна - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессори кафедраи химияи ғайриорганикӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 935007544. **E-mail:** ona41@mail.ru.

Солехова Гулру Нуралиевна - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ассистенти кафедраи технологияи истеҳсолоти химиявӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 934016016. **E-mail:** gulru-s@mail.ru.

Ҷурабеков Убайдулло Махмадсафиевич - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи химияи ғайриорганикӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 918-96-06-60. **E-mail:** ubaid011002@mail.ru.

Сведения об авторах: Давлатова Хатича Саидхоҷаевна – Таджикский национальный университет, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры технологии химических производств. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17.

E-mail: davlatovakh011002@mail.ru. **Телефон:** (+992) 918218755.

Азизкулова Онаджон Азизкуловна - Таджикский национальный университет, доктор химических наук, профессор кафедры неорганической химии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 935007544. **E-mail:** ona41@mail.ru.

Солехова Гулру Нуралиевна - Таджикский национальный университет, ассистент кафедры технологии химических производств. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 934016016. **E-mail:** gulru-s@mail.ru.

Джурабеков Убайдулло Махмадсафиевич – Таджикский национальный университет, кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической химии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 918960660. **E-mail:** ubaid011002@mail.ru.

Information about the authors: Davlatova Khaticha Saidkhodjaevna – Tajik National University, candidate of chemical sciences, senior lecturer at the department of chemical production technology. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 918218755. **Email:** davlatovakh011002@mail.ru.

Azizkulova Onajon Azizkulovna - Tajik National University, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Inorganic Chemistry. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 935007544. **E-mail:** ona41@mail.ru.

Solekhova Gulru Nuraliyeva - Tajik National University, assistant at the Department of Chemical Production Technology. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 934016016. **Email:** gulru-s@mail.ru.

Jurabekov Ubaydullo Makhmadsafievich – Tajik National University, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Inorganic Chemistry. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 918960660. **E-mail:** ubaid011002@mail.ru.

КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O ДАР ҲАРОРАТИ 75°C

Усмонов М.

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Комплекси фазাগии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O шароити коркарди галургии партовҳои мураккаби табиӣ ва техникую маъданӣ (партовҳои саноатӣ), ки дар таркибашон сулфатҳо, карбонатҳо ва фторидҳои натриву калсий доранд муайян мекунад.

Тавре аз адабиёт маълум [1] аст, системаи панҷкомпонентаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O омӯхта нашудааст ва системаҳои чоркомпонентаи таркиби он низ ба қадри кофи омӯхта нашудааст. Аз тарафи мо пештар бо усули транслятсия ин система дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50°C [2 – 4] омӯхта шуда барои ин ҳароратҳо диаграммаи мувозинатҳои фазাগии онҳо сохта шудааст.

Дар ин мақола натиҷаи омӯзиши комплекси фазাগии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O дар ҳарорати 75°C бо усули транслятсия мавриди муҳокима қарор дорад. Усули транслятсия аз принципи ҳамгиро [5] дар таҳлили физико-химиявӣ бармеояд ва онро дар назар дорад, ки ибтидои зиёдшавии компонентнокии системаи химиявӣ (масалан, аз n то n+1) элементҳои геометрии системаи n – компонента ченаки худро бо як воҳид зиёд менамоянд ва ба самти n+1 компонентагӣ кӯчида (транслятсия шуда) элементҳои геометрии системаи омӯхташавандаро дар ин сатҳ ташкил медиҳанд. Дар натиҷа имконият фароҳам меояд, ки диаграммаи схемагии мувозинатҳои фазাগии системаи омӯхташаванда сохта шавад. Татбиқи усули транслятсия барои омӯзиши системаҳои бисёркомпонента муфассалтар дар қорҳои [6-7] пешниҳод шудааст.

Системаи панҷкомпонентаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O аз системаҳои чоркомпонентаи зерин ташкил ёфтааст: Na₂SO₄ – Na₂CO₃ – NaF – H₂O; CaSO₄ – CaCO₃ – CaF₂ – H₂O; Na,Ca//SO₄, F – H₂O; Na,Ca//SO₄,CO₃ – H₂O ва Na,Ca//CO₃,F – H₂O. Онҳо пештар аз тарафи мо бо усули транслятсия [8 – 11] омӯхта шуда диаграммаи мувозинатҳои фазাগии онҳо сохта шудааст. Ҳамзамон системаҳои Na₂SO₄ – Na₂CO₃ – NaF – H₂O; Na,Ca//SO₄, F – H₂O ва Na,Ca//SO₄,CO₃ – H₂O бо усули ҳалшавандагӣ дар ҳароратҳои гуногун низ омӯхта шудааст [12 – 15].

Таҳлили сохти диаграммаи мувозинатҳои фазাগии системаҳои чоркомпонентаи ин системаи панҷкомпонентаро ташкилдиҳанда [16-21] нишон медиҳад, ки системаи мазкур дар сатҳи чоркомпонента дар ҳарорати 75°C бо чунин нуқтаҳои нонвариантии чоркарата аз таркиби фазавии таҳшинҳояшон тавсиф ёфтаанд (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1. Нуқтаҳои нонвариантии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O барои ҳарорати 75°C дар сатҳи чоркомпонентагӣ

Таблица 1. Фазовый состав осадков, соответствующих нонвариантным точкам системы Na, Ca//SO₄, CO₃, F– H₂O при 75°C на уровне четырехкомпонентного состава

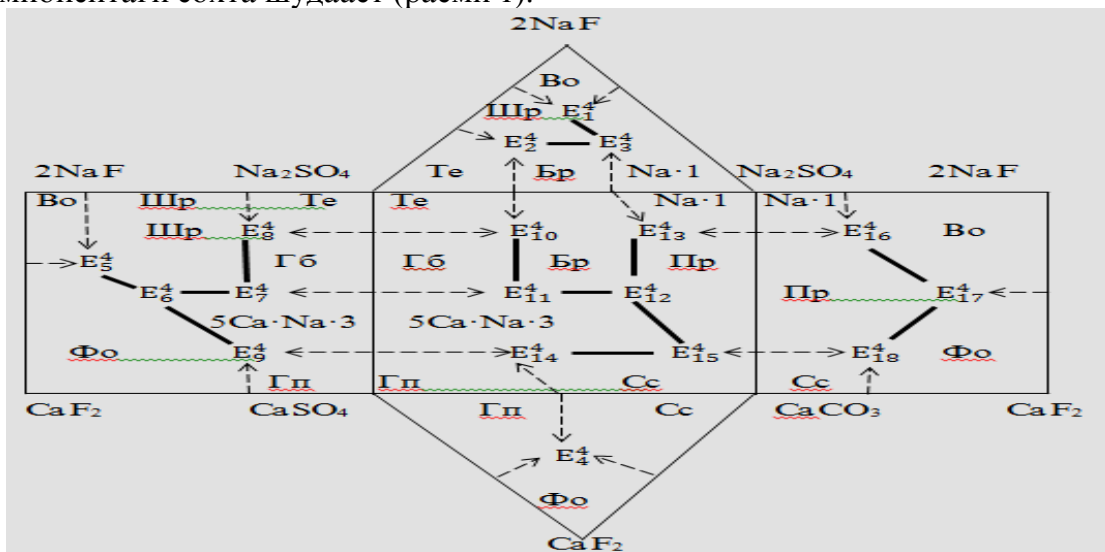
Table 1. Phase compositions of the precipitates corresponding to the invariant points of the Na,Ca//SO₄,CO₃,F–H₂O system at 75°C at the four-component level

Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти дар мувозинат буда	Нуқтаҳои нонварианти	Фазаҳои саҳти дар мувозинат буда
Системаи H ₂ O	Na ₂ SO ₄ –Na ₂ CO ₃ –NaF–	Системаи Na,Ca//SO ₄ ,CO ₃ – H ₂ O	

E_1^4	Во+Шр+ Na·1	E_{10}^4	Те+Бр+Гб
E_2^4	Шр+Те+Бр	E_{11}^4	Бр+Гб+5Ca·Na·3
E_3^4	Шр+Бр+ Na·1	E_{12}^4	Бр+Пр+5Ca·Na·3
Системаи CaSO ₄ -CaCO ₃ - CaF ₂ - H ₂ O		E_{13}^4	Бр+ Na·1+Пр
E_4^4	Гп + Сс+Фo	E_{14}^4	Гп+Сс+5Ca·Na·3
Системаи Na,Ca//SO ₄ , F - H ₂ O		E_{15}^4	5Ca·Na·3+Пр+Сс
E_5^4	Во + Шр + Фo	Системаи Na,Ca// CO ₃ ,F - H ₂ O	
E_6^4	Фo+Шр+5Ca·Na·3	E_{16}^4	Na·1+Во+Пр
E_7^4	5Ca·Na·3+Гб+Шр	E_{17}^4	Пр+Во+Фo
E_8^4	Шр+Гб+Те	E_{18}^4	Пр+Сс+Фo
E_9^4	5Ca·Na·3+Фo+Гп		

Дар ҷадвали 1 ва минбаъд E-нуқтаҳои нонварианти ифода шуда, дар қисмати болоӣ индекс, қаратнокии он (компонентнокии система), вале дар қисмати поёнии индекс рақами тартибии он нишон дода шудааст. Барои фазаҳои саҳт ифодаҳои шартии зерин қабул гардидааст: Те – тенардит Na₂SO₄; Шр – шейрерит Na₂SO₄·NaF; Во – виломит NaF; Фo – флюорит CaF₂; Гб – глауберит Na₂SO₄·CaSO₄; Гп – гипс CaSO₄·2H₂O; Сс – калсит CaCO₃; 5Ca·Na·3 – 5CaSO₄·Na₂SO₄·3H₂O; Na·1 термонатрит Na₂CO₃·3H₂O; Пр – пирсонит Na₂CO₃·CaCO₃·2H₂O ва Бр – беркеит 2Na₂SO₄·Na₂CO₃.

Дар асоси маълумотҳои дар ҷадвали 1 буда диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи омӯхташаванда дар шакли призмаи кушодаи сатҳи чоркомпонентагӣ сохта шудааст (расми 1).



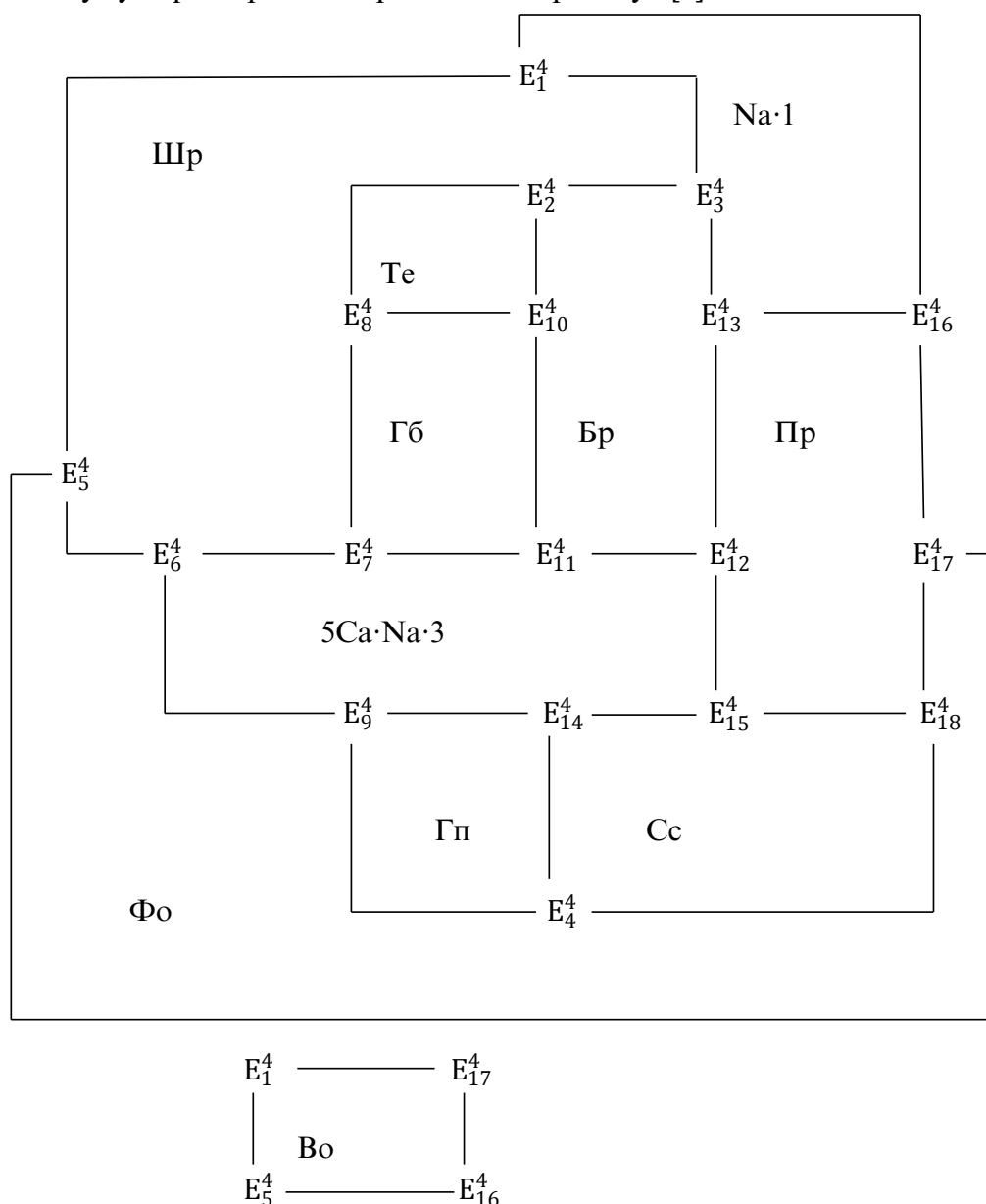
Расми 1. Сохти диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F - H₂O барои ҳарорати 75°C дар сатҳи чоркомпонентагӣ

Рисунок 1. «Развёртка» солевой части диаграммы фазовых равновесий системы Na, Ca// SO₄, CO₃, F– H₂O при 75°C на уровне четырёхкомпонентного состава

Figure 1. Structure of the balance diagram of the Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O system for a temperature of 75°C at the four-component level

Барои минбаъд осонтар намудани ин диаграмма, масалан якҷоя кардани майдонҳои якхелаи кристаллизатсияи фазаҳои сахти мувозинати буда дар шакли нақша тасвир намудан мумкин аст [6]. Дар диаграммаи нақшавии дар расми 2 тасвиршуда ҳамаи маълумотҳои вай: мавҷудияти тамоми шаклҳои геометрӣ, ҷойгиршавии байниқадгариҳои онҳо ва таркиби фазаҳои сахти мувозинатӣ пурра нигоҳ дошта шудааст.

Чунин диаграммаҳои нақшавиро ҳамчун асос барои тасвири системаи омӯхташаванда, бо истифодаи шартҳои мувофиқат, ҷузъҳои сохти қисмҳои таркибӣ ва системаи умумиро дар як диаграмма тасвир намуд [5].

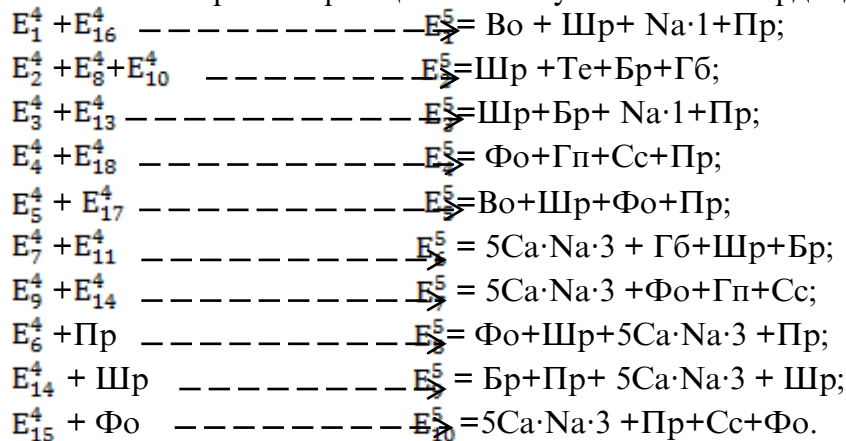


Расми 2. Диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагии системаи Na, Ca//SO₄, CO₃, F – H₂O барои ҳарорати 75°C, ки бо методи транслятсия сохта шудааст

Рисунок 2. Схематическая диаграмма фазовых равновесий системы Na, Ca// SO₄, CO₃, F– H₂O при 75°С на уровне четырёхкомпонентного состава, построенном методом трансляции

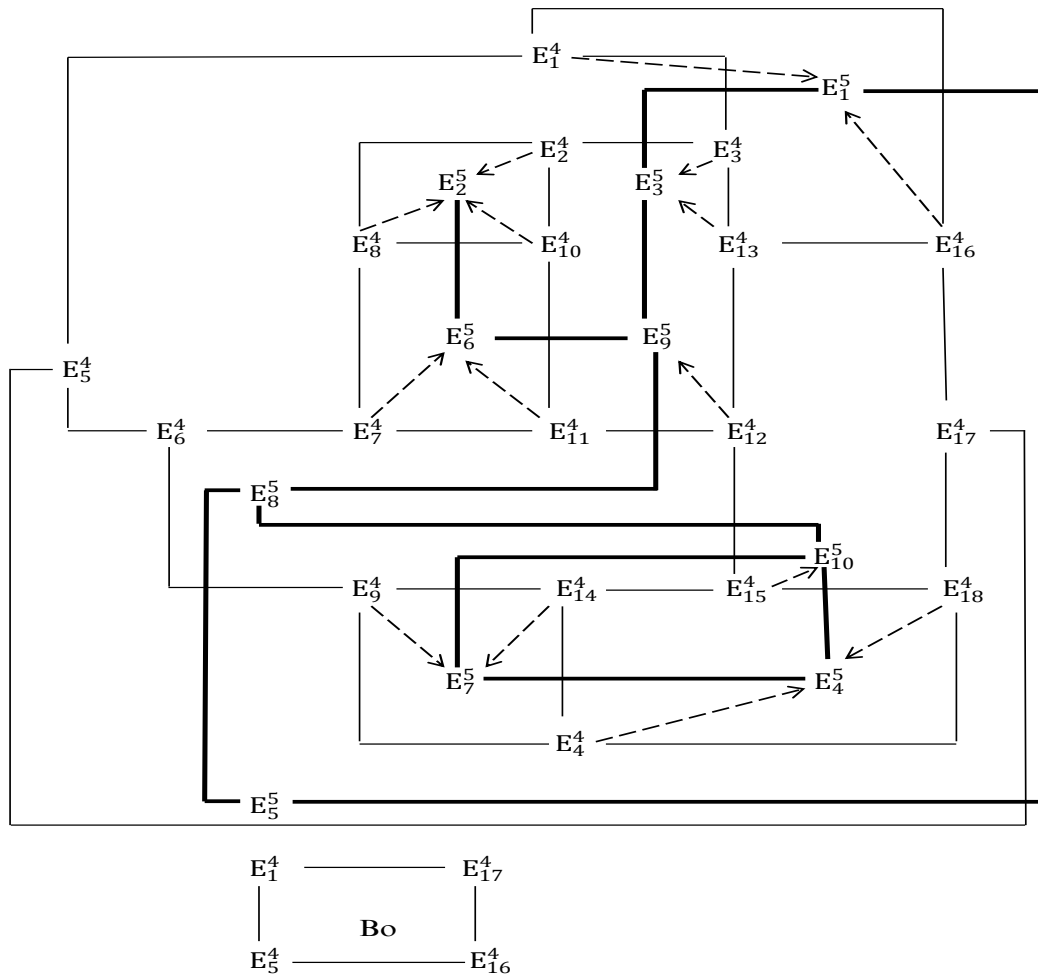
Figure 2. Schematic diagram of phase equilibria of the Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O system for a temperature of 75°С which is made by translation method

Дар системаи панҷкомпонентаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O барои ҳарорати 75°С дар сатҳи чоркомпонентагӣ 18 нуқтаи нонварианти мавҷуд аст. Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента (ҷадвали 1) ба сатҳи панҷкомпонента [6,7] боиси пайдошавии нуқтаҳои нонвариантии сатҳи панҷкомпонентаи зерин бо фазаҳои саҳти мувозинати мегарданд:



Тавре дида мешавад, транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи панҷкомпонентаи системаи омӯхташаванда дорои даҳ нуқтаи нонварианти мегардад. Аз инҳо нуқтаҳои нонвариантии ($E_1^5 - E_7^5$) бо таври ҳаматарафа ва се нуқтаи нонварианти бо роҳи яктарафа ($E_8^5 - E_{10}^5$) транслятсия шудаанд [6,7].

Дар асоси маълумотҳои бадастомада диаграммаи схемагии мувозинатҳои фазагии системаи тадқиқшаванда дар сатҳи панҷкомпонентагӣ сохта шудааст, ки он дар расми 3 оварда шудааст.

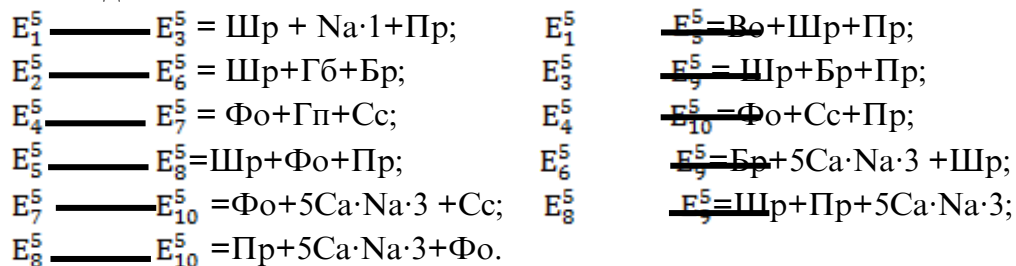


Расми 3. Диаграмма схематии мувозинатҳои фазагии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O барои ҳарорати 75°C,ки бо методи транслятсия сохта шудааст

Рисунок 3. Совмещенная схематическая диаграмма фазовых равновесий системы Na, Ca// SO₄, CO₃, F– H₂O при 75°C на уровне пятикомпонентного состава, построенная методом трансляции

Figure 3. Schematic phase diagram for the Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O system at 75°C at the five_component level, constructed by the translation method

Хатҳои канда – кандаи милдор бо тирча – хатҳои моновариантии сатҳи панҷкомпонента буда, онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента ба сатҳи панҷкомпонента ҳосил шудаанд, мил бошад самти транслятсияро нишон медиҳад (ҷадвали 1). Хатҳои ғафси яқлукт низ ифодаи хатҳои моновариантии сатҳи панҷкомпонента буда, онҳо байни нуқтаҳои нонвариантии ин сатҳ мегузаранд ва барояшон фазаҳои саҳти мувозинатии зерин хос мебошанд:



Барои ҳубтар хондани диаграммаи схематикӣ дар расми 3 овардашуда онро ба майдонҳои дивариантӣ ва контури онҳо ҷудо намудем.

Дар чадвали 2. рӯйхат ва контури майдонҳои дивариантии измотермаи 75°C дар системемаи Na, Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O, ки бо методи трансляция сохта шудааст оварда шудааст.

Чадвали 2. Рӯйхат ва контури майдонҳои дивариантии системемаи Na, Ca//SO₄, CO₃, F – H₂O дар ҳарорати 75°C

Таблица 2. Перечень и контуры дивариантных полей системы Na, Ca// SO₄, CO₃, F– H₂O при 75°C

Table 2. List and contours of divariant fields of the Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O system at 75°C

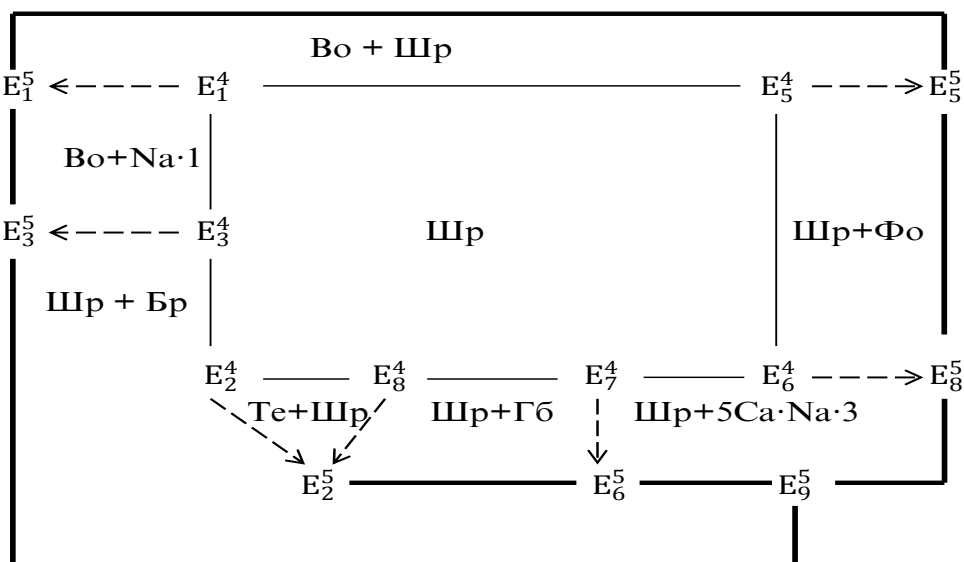
Фазаҳои дар мувозинат буда	Контури майдонҳо (расми 3)	Фазаҳои дар мувозинат буда	Контури майдонҳо (расми 3)
1	2	3	4
Шр + Na·1		Во+Шр	
Во+ Na·1		Бр+Шр	
Те + Шр		Бр+Те	

<p>Бр+ Na·1</p>	<p>--- E₃⁴ ----></p> <p>E₃⁵</p> <p> </p> <p>↑</p> <p>--- E₁₃⁴ ----</p>	<p>Гп+Сс</p>	<p>--- E₄⁴ ----></p> <p>E₄⁵</p> <p> </p> <p>--- E₁₄⁴ ----></p> <p>E₇⁵</p>
<p>Гп+Φо</p>	<p>--- E₄⁴ ----></p> <p>E₄⁵</p> <p> </p> <p>--- E₉⁴ ----></p> <p>E₇⁵</p>	<p>Сс+Φо</p>	<p>--- E₄⁴ ----></p> <p>E₄⁵</p> <p> </p> <p>--- E₁₈⁴ ----</p> <p>↑</p>
<p>Шр + Φо</p>	<p>--- E₅⁴ ----></p> <p>E₅⁵</p> <p> </p> <p>--- E₆⁴ ----></p> <p>E₈⁵</p>	<p>Φо+Bo</p>	<p>--- E₅⁴ ----></p> <p>E₅⁵</p> <p> </p> <p>--- E₁₇⁴ ----</p> <p>↑</p>
<p>Шр +5Ca·Na·3</p>	<p>--- E₆⁴ ----></p> <p>E₈⁵</p> <p> </p> <p>--- E₉⁴ ----> E₆⁵</p> <p>E₉⁵</p>	<p>Φо +5Ca·Na·3</p>	<p>--- E₆⁴ ----></p> <p>E₈⁵</p> <p> </p> <p>--- E₉⁴ ----> E₆⁵</p> <p>E₉⁵</p>

Гб+Шр	E_6^5 $-E_7^4 \dashrightarrow$ E_2^5 $-E_8^4 \dashrightarrow$	Гб +5Ca·Na·3	E_6^5 $-E_7^4 \dashrightarrow$ $E_{11}^4 \dashrightarrow$
Те + Гб	E_2^5 $-E_8^4 \dashrightarrow$ $E_{10}^4 \dashrightarrow$	Гп +5Ca·Na·3	E_7^5 $-E_9^4 \dashrightarrow$ E_4^5 $-E_{14}^4 \dashrightarrow$
Гб+Бр	E_2^5 $-E_{10}^4 \dashrightarrow$ E_6^5 $-E_{11}^4 \dashrightarrow$	Бр +5Ca·Na·3	E_6^5 $-E_{11}^4 \dashrightarrow$ E_9^5 $-E_{12}^4 \dashrightarrow$
Бр+ Пр	E_9^5 $-E_{12}^4 \dashrightarrow$ E_3^5 $-E_{13}^4 \dashrightarrow$	Пр+5Ca·Na·3	E_8^5 $-E_{12}^4 \dashrightarrow$ E_8^5 $-E_{15}^4 \dashrightarrow$ E_{10}^4
	$-E_{13}^4 \dashrightarrow$		$-E_{14}^4 \dashrightarrow$

Na·1 + Пр	E_3^5 E_1^5	Cc+5Ca·Na·3	E_7^5 E_{10}^5
Пр+Сс	 E_{10}^5 E_4^5	Пр+Во	 E_1^5 E_5^5
Пр+Фо	 E_8^5 E_{10}^5		

Тавре аз чадвали 2 дида мешавад дар системаи мазкур 27 майдони дивариантӣ дар сатҳи панҷкомпонента мавҷуд аст. Таҳлили таркибии майдонҳои дивариантӣ нишон медиҳад, ки шейрерит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NaF}$) шумораи бештари майдонҳои дивариантӣро (7 аз 27) бо дигар фазаҳои саҳти мувозинати ташкил медиҳад. Ин аз он шаҳодат медиҳад, ки майдони кристаллизатсияи шейрерит дар ин ҳарорат бинобар камҳалшаванда буданаш қисми зиёди системаи омӯхташавандаро ташкил медиҳад. Дар расми 4. порчаи мувозинатҳои фазагии системаи $\text{Na}, \text{Ca}/\text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 75°C дар ҳудуди кристаллизатсияи шейрерит оварда шудааст.



Расми 4. Порчаи диаграмми мувозинатҳои фазаи системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O дар ҳарорати 75°C дар ҳудуди фазаи шейрерит бо дигар намакҳо

Рисунок 4. Фрагмент схематической диаграммы фазовых равновесий системы Na, Ca// SO₄, CO₃, F– H₂O при 75°C в области парагенеза шейрерита (Na₂SO₄ · NaF) с другими фазами

Figure 4. Fragment of the diagram of phase balance of the system Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O at a temperature 75°C in the sheyerrite phase with other salts

Ҳамин тавр, муайян карда шудааст, ки барои системаи омӯхташаванда дар ҳарорати 0°C дар сатҳи чоркомпонентагӣ (А) ва панҷкомпонентагӣ (В) миқдори зерини шаклҳои геометрӣ ҳос аст:

Сатҳи компонент	Уровень компонентности	А	В
Нуқтаҳои нонвариантӣ	Нонвариантные точки	18	10
Хатҳои моновариантӣ	Моновариантные кривые	27	29
Майдонҳои дивариантӣ	Дивариантные поля	11	27

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных водно – солевых систем. Т. II. Кн. 1 -2. – Санкт –Петербург: Химиздат, –2004, – 1247 с.
2. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca//SO₄, CO₃, F–H₂O при 25°C. Журнал неорганической химии/ Л.Солиев, М. Усмонов// – 2012, Т. 57. № 3. –С. 510-515.
3. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca//SO₄, CO₃, F–H₂O при 0°C. / Журнал неорганической химии / Л.Солиев, М. Усмонов// –2013, Т. 58. № 4. –С.530-534.
4. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, Ca // SO₄, CO₃, F– H₂O при 50°C/ Л.Солиев, М. Усмонов// Докл. АН РТ. – Душанбе, 2018. № 7-8. – С. 651-657.
5. Горощенко, Я.Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем. / Я.Г. Горощенко// – Киев: Наукова думка,1982. – С. 264.
6. Солиев, Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно – солевых систем методом трансляции / Л. Солиев// –М.,1987. – 28 с.
7. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции (книга 1) /Л. Солиев// – Душанбе: ТГПУ, 2000. – С. 247.
8. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na, K//SO₄, CO₃, HCO₃ –H₂O при 25 °C / Л.Солиев, Ш.Турсунбадалов, Ш.Авлоев// Докл. АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2006. – Т. 49. № 2. – С. 11.
9. Авлоев, Ш.Х. Фазовые равновесия в системе Na, K//SO₄, CO₃,F–H₂O при 25 °C/ Ш.Х.Авлоев, Л. Солиев// Журн.неорган. химии. – Душанбе, 2007. –Т.52. № 10. – С. 1714.

10. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при 25°C/Л.Солиев, М. Усмонов// Известия ТО МАН ВШ. – Душанбе, 2010. № 1. – С. 77.
11. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы Na, Ca// SO₄, F– H₂O при 25°C. /Л.Солиев, М. Усмонов// Докл. АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. –Т. 53. № 8. – С. 612.
12. Усмонов, М. Прогнозированные фазовых равновесий системы Na₂SO₄-Na₂CO₃-NaF-H₂O при 75°C /Л.Солиев, М. Усмонов// Национальная ассоциация ученых. № 5. – Санкт – Петербург, 2020. – С.41-44.
13. Usmonov M.B. Фазовые равновесия в системе Na, Ca//SO₄, F-H₂O при 75°C. East European Scientific Journal/ М.В. Usmonov. –Warsaw: Poland 3(55), 2020. Part 1. –Pp.70-72.
14. Солиев, Л. Растворимость в системе Na₂SO₄ – Na₂CO₃ – NaF – H₂O при 25°C/Л.Солиев, Ш.Х.Авлоев//Докл.АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2008. –Т. 51. –№ 3. – С.212.
15. Жумаев, М.Т. Растворимость системы Na,Ca||SO₄,CO₃-H₂O при 50°C /М.Т.Жумаев, Л.Солиев, Х.Р.Махмадов, М.Б. Усмонов// Менделеевский съезд. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – Санкт-Петербург, 2019. –Т. 3. – С.146.
16. Солиев, Л. Растворимость в системе Na,Ca//SO₄,F-H₂O при 0 °C/ Л.Солиев, М.Усмонов// Журн. неорган. Химии. 2013. - Т.58. №12, – С.1677-1680.
17. Усмонов, М. Растворимость в системе CaSO₄-CaCO₃-CaF₂-H₂O при 25 °C /М.Усмонов, Л.Солиев, И.Низомов// Докл. АН РТ. 2012. № 10. –Т.55. – С.811 – 816.
18. Усмонов, М. Растворимость в системе Na,Ca//SO₄,F-H₂O при 25 °C / М.Усмонов Л., Солиев// Журн. неорган. Химии. 2014. - Т. 59. № 12. –С. 1759–1763.
19. Усмонов, М. Растворимость в системе Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при 25 °C / М.Усмонов Л., Солиев// Журн. неорган. химии. –2016. –Т. 61. № 8. – С.1093-1099.
20. Солиев, Л. Растворимость в системе Na, Ca // SO₄, F– H₂O при 50°C/ Л.Солиев, М.Усмонов, М.Жумаев, П.Мухторов//Узбекский химический журнал. № 5/2019. – Ташкент, 2019. – С.15-21. ISSN 0042 – 1707.
21. Солиев, Л. Схематические диаграммы фазовых равновесий многокомпонентных систем/ Л.Солиев// Журн. неорган. химии. –1988. –Т. 33. № 5. – С. 1305.

REFERENCES

1. Handbook of experimental data on the solubility of multicomponent water-salt systems. V.II., book. 12. - St. Petersburg: Himizdat, 2004. –1247 p.
2. Soliev, L. Phase equilibria of the Na,Ca//SO₄,CO₃,F-H₂O system at 25°C. / L.Soliev, M.Usmonov// Journal of inorganic chemistry. – 2012. 57. №. 3. –Pp.510-515.
3. Soliev, L. Phase equilibria of the Na,Ca//SO₄,CO₃,F-H₂O system at 0°C. / L.Soliev, M. Usmonov // Journal of inorganic chemistry. – 2013. V. 58. № 4. –Pp.530 – 534.
4. Soliev, L. Phase equilibria in the system Na, Ca // SO₄, CO₃, F– H₂O at 50°C / L.Soliev, M.Usmonov// Dokl. AN RT. – Dushanbe, 2018, –No. 7-8. –Pp.651-657.
5. Goroshchenko, Ya.G. Masscentric image method of multicomponent systems/ Ya. G. Goroshchenko// – Kiev: Naukova Dumka, 1982, –P.264.
6. Soliev, L. Prediction of the structure of phase equilibrium diagrams of multicomponent water – salt systems by the translation method/ L. Soliev. –M., 1987. – 28 p.
7. Soliev, L. Prediction of phase equilibria in a multicomponent system of the marine type by the translation method/L. Soliev// –Dushanbe: TSPU, 2000. –P. 247.
8. Soliev, L. Phase equilibria in the system Na, K//SO₄, CO₃, HCO₃ –H₂O at 25°C/ L. Soliev, Sh.Tursunbadalov, Sh.Avloev//Dokl. Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2006. –V. 48, – №. 2. – P.11.
9. Avloev, Sh.Zh. Phase equilibria in the system Na, K//SO₄, CO₃,F-H₂O at 25°C / Sh. Avloev, L.Soliev//Inorganic Chemistry. – 2007. V.52. –No. 10. – P. 1714.
10. Soliev, L. Phase equilibria of the system Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O at 25°C. / L.Soliev, M. Usmonov// Izvestiya TO MAN VSH. –2010. –No. 1. – P. 77.
11. Soliev, L. Phase equilibria in the system Na, Ca// SO₄, F– H₂O at 25°C /L.Soliev, M. Usmonov/ Dokl. Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2010. –V. 53. –No. 8. – P. 612.
12. Usmonov, M. Predicted phase equilibria of the system Na₂SO₄-Na₂CO₃-NaF-H₂O at 75°C /M.Usmonov, L.Soliev// National Association of Scientists. – No. 5/2020. –Pp.41-44.
13. Usmonov, M.B. Phase equilibria of the Na, Ca//SO₄, F-H₂O system at 75°C / M.B.Usmonov// East European Scientific Journal. – Warsaw: Poland 3(55), 2020. Part 1. –Pp.70-72.
14. Soliev, L. Solubility in the system Na₂SO₄ – Na₂CO₃ – NaF – H₂O at 25°C. / L.Soliev, Sh.Avloev// Report Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. 2008. –V. 51.–No3. – P.212.
15. Zhumaev, M.T. Solubility of the system Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O at 50°C/ M.T.Zhumaev, L.Soliev, Kh. R.Makhmadov, M.B.Usmonov// Mendeleev Congress. XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. – St. Petersburg: – 2019. –V. 3. – P.146.

16. Soliev, L. Solubility of the system Na, Ca//SO₄,F-H₂O at 0°C. /L.Soliev, M. Usmonov, V. Nuri// Journal. inorganic Chemistry. – 2013. V.58. №12. –Pp. 1677-168.
17. Usmonov, M. Solubility of the system CaSO₄-CaCO₃-CaF₂-H₂O at 25°C. /Usmonov, L.Soliev, I.Nizomov// Dokl. AN RT. 2012. № 10. V.55. –Pp.811 – 816.
18. Usmonov, M. Solubility of the system Na, Ca//SO₄, F-H₂O at 25°C. / M. Usmonov, L. Soliev 2014// Journal. inorganic Chemistry. – V. 59. –№12. –Pp.1759–1763.
19. Usmonov, M. Solubility of the system Na, Ca//SO₄, CO₃-H₂O at 25°C/ M.Usmonov, L.Soliev// Journal. inorganic Chemistry. – 2016. –Volume 61. –№. 8. –Pp.1093-1099.
20. Soliev, L. Solubility of the system Na, Ca // SO₄, F– H₂O at 50°C. / L. Soliev., M. Usmonov, M. Zhumaev, P. Mukhtorov// Uzbek chemical Journal. –No. 5 / 2019. Tashkent: – 2019. –Pp.15 – 21. ISSN 0042 – 1707.
21. Soliev, L. Schematic diagrams of phase equilibria of multicomponent systems. / L. Soliev// Journal. inorganic Chemistry. –1988. –Vol. 33. –No. 5. –P. 1305

КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O ДАР ҲАРОРАТИ 75°С

Дар мақола натиҷаҳои муайянсозии мувозинатҳои фазавӣ дар системаи геометрии бо гирд овардани сохтори диаграмми фазавӣ, тавассути методи трансляция пешкаш карда шудааст. Муайян карда шудааст, ки дар комплекси фазавии системаи иборат аз сульфатҳои карбонатҳо ва фторидҳои натрий калсий бообдошта дар ҳарорати 75°С 10 нуқтаи нонварианти, 29 хатти моноварианти ва 27 майдони диварианти мавҷуд аст. Аз 10 нуқтаи нонварианти сатҳи панҷкомпонента нуқтаҳои нонварианти ($E_1^5 - E_7^5$) бо таври ҳаматарафа ва се нуқтаи нонварианти бо роҳи яктарафа ($E_8^5 - E_{10}^5$) трансляция шудаанд. Дар асоси далелҳои бадастовадашуда бори аввал диаграмми мувозинатҳои фазавии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O дар ҳарорати 75°С сохта шудааст. Барои фазавии саҳт ифодаҳои шартии зерин қабул гардидааст: Те – тенардит Na₂SO₄; Шр – шейррит Na₂SO₄·NaF; Во – вилломит NaF; Фо – флюорит CaF₂; Гб – глауберит Na₂SO₄·CaSO₄; Гп – гипс CaSO₄·2H₂O; Сс – калцит CaCO₃; 5Ca·Na·3 – 5CaSO₄·Na₂SO₄·3H₂O; Na·1 термонатрит Na₂CO₃·3H₂O; Пр – пирсонит Na₂CO₃·CaCO₃·2H₂O ва Бр – беркеит 2Na₂SO₄·Na₂CO₃.

Калидвожаҳо: методи трансляция, системаи бисёркомпонента, диаграмма, фазавии саҳт, нуқтаҳои нонварианти, хатҳои моноварианти, майдонҳои диварианти

ФАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМЫ Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O ПРИ 75°С

В статье рассматривают результаты определения фазовых равновесий на геометрических образах приведенной системы с последующим построением её фазовой диаграммы методом трансляции. Установлено что фазовый комплекс системы сульфаты, карбонаты, фториды натрия и кальция в воде при 75°С наличие 10 нонвариантных точек, 29 моновариантных кривых, 27 дивариантных полей. Из них сем нонвариантных точек ($E_1^5 - E_7^5$) образованы по типу «сквозной» и три нонвариантные точки ($E_8^5 - E_{10}^5$) – по типу «односторонней» трансляции. На основе полученных данных построена замкнутая фазовая диаграмма исследованной системы при 75°С. Приняты следующие условные обозначения равновесных твёрдых фаз: Те – тенардит Na₂SO₄; Шр – шейррит Na₂SO₄·NaF; Во – вилломит NaF; Фо – флюорит CaF₂; Гб – глауберит Na₂SO₄·CaSO₄; Гп – гипс CaSO₄·2H₂O; Сц – кальцит CaCO₃; 5Ca·Na·3 – 5CaSO₄·Na₂SO₄·3H₂O, Na·1 термонатрит – Na₂CO₃·H₂O; Пр – пирсонит Na₂CO₃·CaCO₃·2H₂O, Бр – беркеит 2Na₂SO₄·Na₂CO₃.

Ключевые слова: Фазовые равновесия, многокомпонентная система, диаграмма, твёрдых фаз, нонвариантные точки, моновариантные кривые, дивариантные поля

PHASE COMPLEX OF THE SYSTEM Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O AT A TEMPERATURE OF 75°С

In this article, the results of determining phase equilibria in the geometric system by gathering the structure of the phase diagram by the method of translation are presented. It was determined that in the phase complex of the system consisting of sulfates and carbonates and fluorides of sodium and calcium with water at a temperature of 75°С there are 10 nonvariant points, 29 monovariant lines and 27 divariant areas. Out of 10 nonvariant points of the five-component level, nonvariant points ($E_1^5 - E_7^5$) were translated in a comprehensive way, and three nonvariant points were translated in a one-way way ($E_8^5 - E_{10}^5$). Based on the obtained evidence, a diagram of phase equilibria of the system Na,Ca//SO₄,CO₃,F – H₂O at a temperature of 75°С was created for the first time. For solid phases, the following conditional expressions are accepted: Те – thenardite Na₂SO₄; Shr - sheyerrite Na₂SO₄·NaF; Vo – willomite NaF; Fo - fluorite CaF₂; Gb – glauiberite Na₂SO₄·CaSO₄; Гп - gypsum CaSO₄·2H₂O; Cs – calcite CaCO₃; 5Ca·Na·3 – 5CaSO₄·Na₂SO₄·3H₂O; Na·1 thermonatrit Na₂CO₃·3H₂O; Pr - piersonite Na₂CO₃·CaCO₃·2H₂O and Br - burkeite 2Na₂SO₄·Na₂CO₃.

Key words: translation method, multicomponent system, diagram, solid phases, nonvariant points, monovariant lines, divariant fields

Маълумотнома дар бораи муаллиф: Усмонов Муҳаммадсалим Бозорович – Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ, номзади илми химия, дотсенти кафедраи технология ва экологияи химиявӣ. **Суроға:** 734003, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ 121. **Телефон:** (+992) 918887812. **E-mail:** usmonov.86@mail.ru.

Сведения об авторе: Усмонов Мухаммадсалим Бозорович – Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. кандидат химических наук, дотсент кафедры химическая технология и экология. **Адрес:** 734003, г.Душанбе, Республика Таджикистан, пр. Рудаки 121. **Телефон:** (+992) 918887812. **E-mail:** usmonov.86@mail.ru.

Information about the author: Usmonov Muhammadsalim Bozorovich– Tajik State Pedagogical University named after Sadriiddin Ayni, candidate of chemical sciences lecturer of the Department of Chemical technology and ecology. **Address:** 734003, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 121. **Phone:** (+992) 918887812. **E-mail:** usmonov.86@mail.ru.

МУНДАРИЧА МАТЕМАТИКА

Комилиён Ф.С., Қосимов И.Л. Усулҳои амсиласозии динамикаи экосистемаи обанбори пастоби эвтрофӣ бо ҳудудҳои тағйирбанда.....	5
Давлатова Ш.Ш. Моделсозии компютери системаи диабети қанд.....	25
Пежмон Дж. Муқоиса ва тафтиши усулҳои муайян кардани ҳудуди болоӣ ва поёнии маълумот.....	34
Маннонов Т.Б., Мирзоев С.Х. Алгоритми идоракунии ва системаи навигатсионии роботи мобилӣ.....	46
Начмиддиниён А.М. Пешниҳоди моделии ҳалли аналитикии вобастагии тақсимои ҳолати статсионари гайрихаттии сели гармӣ аз ҳарорат дар муҳити конденсии цилиндрӣ.....	54
Ҳамидова Д. Имкониятҳои алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ дар таҳлили деменсия дар асоси маълумотҳои ТМР.....	64
Чӯраева Г.Х. Тадқиқи падидаи статсионари интиқоли гармӣ дар муҳити конденсии цилиндрӣ.....	73
Ҳомиддин С. Тадқиқи як системаи барзиёдмуайяншудаи муодилаҳои дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусии тартиби дууми коэффитсиентҳои махсусдошта.....	88
Пежмон Дж. Омӯзиш ва баррасии усулҳои ченкунии камбизоатӣ ва муаррифии модели нави ҳадди ақалли камбизоатӣ.....	96

ФИЗИКА

Салихов Т.Х., Абдурахмонов А.А. Хусусиятҳои ангиши мавҷи ҳароратӣ дар наворҳои диэлектрикӣ ҳангоми нурборонкунии бо дастаи ионҳои гармоникӣ модулятсияшуда.....	109
Сафаров А. Ғ., Ҳикматуллоев С.Ҷ. Ҳаракати ҷангҳои заряднок дар атмосфераи кометаи C/2020 F3 NEOWISE.....	123
Ғафоров С., Шарипов А. П., Баротов Н.И. Хосиятҳои электрофизикуи антимониди галлий ва намунаҳои чавҳаронидашуда дар ҳудуди ҳарорати гудозиш, ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ.....	133
Султонов Н., Ақобирова А.Т., Ҳамроқулов Р.Б. Усули оптикуи муайян намудани васеъгии гузариши байни зонагии пардаҳои тунуки поликристаллии CdTe ва вобастагии он аз технологияи синтези пардаҳо.....	147
Валиев Н.Р., Абдуллаев С.Ф. Таҳқиқоти металҳои вазнин дар таркиби гиёҳи шифобахши гули хайрӣ (<i>althaea officinalis</i>).....	157
Бобоев Ш.С. Таҳқиқи синхронаҳои думи ҷангини кометаи C/2020 F3 NEOWISE.....	167

ХИМИЯ

Прокудина О.В., Песцов Г.В., Третьякова А.В., Мягкова А.С., Бутенко С.А., Мухторов Л.Г., Каримов М.Б. Истифодаи HERMETIA ILLUCENS LIPID барои истеҳсоли косметикӣ.....	178
Карамбахшов Х.З., Халикова С., Джафари Б., Лангер П., Сафаров С.Ш. Синтези 2-арил-ивазшудаи-12Н- бензотиязола [3,2-В] хиначолин-12-онҳо бо реаксияи сууқи-мияра.....	189
Ғадоев С.Ш., Қурбонова Ф.Ш., Шеров Қ.М. Таҳқиқи спектроскопии инфрасурхи маводҳои доруворӣ ампитиллин ва аттенолол.....	203
Мирзоев Д.Х., Чамолов Н.М., Юсупов Б.Я., Ҳолматов Т.Б., Раҳимов И.М. Таҳлили термодинамикуи гузариши равандҳо ва ҳисобкунии кинетика ҳангоми таҷзияи сиенитҳои нефелини турпи бо омехтаи кислотаҳои сулфат ва нитрат.....	213
Алиева Ш.Р., Шерова З.У., Чонмуродов А.С., Усмонова С.Р., Мухидинов З.Қ. Таҳлили нишондиҳандаҳои физикии рағванҳои бадастомада аз растаниҳои шифоии гуногуни Тоҷикистон.....	223
Бобизода Г.М., Ҳалимов М.М., Бегмуродов Р.И. Ҳосил намудани дипептидҳои триптафандор-лигандҳои комбинатсияи пайвастаҳои координатсионии руҳ ва экстракти решаи тиллоӣ.....	236
Зарипов Ҷ.А. Тадқиқи гармиғунҷоиши хоси хокаи оҳаки ношукуфта ва хокаи флюорит (намуди ФК-70) вобаста ба вақт ва ҳарорат.....	248
Давлатова Х.С., Азизкулова О.А., Солехова Г.Н., Джурабеков У.М. Синтез ва таҳқиқи хосиятҳои физикӣ-химиявии пайвастаҳои координатсионии мис (II) бо баъзе лигандҳои тиоамидӣ.....	255
Усмонов М.Б. Комплекси фазагии системаи Na, Ca/SO ₄ , CO ₃ , F – H ₂ O дар ҳарорати 75°C.....	263

СОДЕРЖАНИЕ МАТЕМАТИКА

Комилиён Ф.С., Касымов И.Л. Методы моделирования динамики экосистемы мелководного эвтрофного водохранилища с переменными границами.....	5
Давлатова Ш.Ш. Компьютерное моделирование системы сахарного диабета	25
Пежмон Дж. Сравнение и проверка методов определения верхний и нижний пределы данных.....	34
Маннонов Т.Б., Мирзоев С.Х. Алгоритм управления и система навигации мобильного робота.....	46
Нажмиддиниён А.М. Модельное представление аналитического решения зависимости стационарного состояния нелинейного распределения температуры в цилиндрических конденсированных средах.....	54
Хамидова Д.Н. Возможности алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции на основе данных МРТ.....	64
Джураева Г.Х. Исследование стационарное явление теплообмена в цилиндрической конденсированной среде.....	73
Хомиддин С. Исследование одной переопределённой системы дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка, содержащей особые коэффициенты.....	88
Пежмон Дж. Исследование и обзор методов измерения бедности представление новой модели порога бедности.....	96

ФИЗИКА

Салихов Т.Х., Абдурахмонов А.А. Особенности возбуждения тепловых волн в пленках диэлектриков при облучении гармонически модулированным ионным пучком.....	109
Сафаров А. Г., Хикматуллоев С.Дж. Движения заряженных пылевых частиц в атмосфере кометы C/2020 F3 NEOWISE.....	123
Гафоров С., Шарипов А.П., Баротов Н. И. Электрофизические и термодинамические свойства антиминода галлия и легированные образцы вблизи температуры плавления в твердом и жидком состоянии.....	133
Султонов Н., Акобиров А.Т., Хамрокулов Р.Б. Оптический метод определения ширины межзонного перехода тонких поликристаллических пленок CdTe и ее зависимость от технологии синтеза пленок.....	147
Валиев Н.Р., Абдуллаев С.Ф. Определение количества тяжелых металлов в лекарственном растении алтей лекарственный (<i>althaea officinalis</i>).....	157
Бобоев Ш.С. Исследование синхрона пылевого хвоста кометы C/2020 F3 NEOWISE.....	167

ХИМИЯ

Прокудина О.В., Песцов Г.В., Третьякова А.В., Мягкова А.С., Бутенко С.А., Мухторов Л.Г., Каримов М.Б. Использование липидов <i>Hermetia Illucens</i> для получения косметических средств... 178	178
Карамбахшов Х.З., Халикова С., Джафари Б., Лангер П., Сафаров С.Ш. Синтез 2-арилзамещённых-12Н-бензотиазоло[3,2-В] хиназолин-12-онов по реакции кросс-сочетания сузуки-мияуры.....	189
Гадоев С.Ш, Курбонова Ф.Ш., Шеров К.М. ИК – спектроскопическое исследование лекарственных препаратов ампициллина и атенолола.....	203
Мирзоев Д.Х., Джамолов Н.М., Юсупов Б.Я., Холматов Т.Б., Рахимов И.М. Термодинамический анализ и расчёт кинетики процессов, протекающих при разложении нефелиновых сиенитов турпи смесью серной и азотной кислот.....	213
Алиева Ш.Р., Шерова З.У., Джонмуродов А.С., Усманова С.Р., Мухидинов З.К. Анализ физических показателей эфирных масел лекарственных растений таджикистана, полученных различными методами.....	223
Бобизода Г.М., Халимов М.М., Бегмуродов Р.И. Получение триптофансодержащих дипептидов - лигандов комбинации координационных соединений цинка и экстракта золотого корня.....	236
Зарипов Дж.А. Измерение удельной теплоёмкости порошка негашённой извести и порошка флюорита (марки ФК-70) в зависимость от времени и температуры	248
Давлатова Х.С., Азизкулова О.А., Солехова Г.Н., Джурабеков У.М. Синтез и физико-химические исследования координационных соединений меди (II) с некоторыми тиоамидными лигандами... 255	255
Усмонов М.Б. Фазовый комплекс системы Na, Ca//SO ₄ , CO ₃ , F – H ₂ O при 75°С.....	263

CONTENTS MATHEMATICS

Komiliyon F.S., Kasimov I.L. Methods for simulating the ecosystem dynamics of a shallow eutrophic reservoir with variable boundaries.....	5
Davlatova Sh.Sh. Computer modeling of the diabetes system.....	25
Pejman J. Comparing and checking the methods of determining the upper and lower limits of data.....	34
Mirzoev S.H., Mannonov T.B. Control algorithm and navigation system of a mobile robot.....	46
Najmiddiniyov A.M. Model representation of the analytical solution of the station state dependence of the nonlinear heat flow distribution in condensed cylindrical media.....	54
Hamidova D. N. Possibilities of machine learning algorithms in the diagnosis of dementia based on MRI data.....	64
Juraeva G.Kh. Investigation of the stationary phenomenon of heat transfer in a cylindrical condensed medium.....	73
Khomiddin S. Research of one overdetermined system of differential equations with second order partial derivatives containing special coefficients.....	88
Pejman J. Study and review of poverty measurement methods and presenting a new poverty threshold model.....	96

PHYSICS

Salikhov T.H., Abdurahmonov A.A. Feature of excitation of thermal waves in dielectric films under irradiation with a harmonically modulated ion beam.....	109
Safarov A.G., Hikmatulloev S.D. Motions of charged dust particles in the atmosphere of comet C/2020 F3 NEOWISE.....	123
Gaforov S., Alamsho P., Barotov N.I. Electrophysical properties of gallium antimonide near the melting temperature in the solid and liquid state.....	133
Sultonov N., Akobirova A.T., Hamrokulov R.B. Optical method for determining the interzone transition width of thin polycrystalline CdTe films and its dependence on film synthesis technology.....	147
Valiev N. R., Abdullaev S.F. Determination of the quantity of heavy metals in medicinal plant marshmalls (<i>althaea officinalis</i>).....	157
Boboev S.S. Study of the synchron of the dust tail of comet C/2020 F3 NEOWISE.....	167

CHEMISTRY

Prokudina O.V., Pestsov G.V., Tretyakova A.V., Myagkova A.S., Butenko S.A., Mukhtorov L.G., Karimov M.B. Use of <i>Hermetia Illucens</i> lipid for cosmetic Production.....	178
Karambakhshov H.Z., Khalikova S., Jafari B., Peter L., Safarov S.Sh. Synthesis of 2-aryl-substitute-12H-benzothiazolo[3,2-b]quinazolin-12-ones by the suzuki-miyaura cross-coupling reaction.....	189
Gadoev S.Sh., Kurbanova F.Sh., Sherov K.M. IR - spectroscopic investigation of drugs ampicillin and atenolol.....	203
Mirzoev D.Kh., Jamolov N.M., Yusupov B.Y., Kholmatov T.B., Rakhimov I.M. Thermodynamic analysis and calculation of kinetics of processes occurring in the decomposition of nepheline syenites turpi by the mixture of sulfuric and nitric acids.....	213
Alieva Sh.R., Sherova Z.U., Jonmurodov A.S., Usmanova S.R., Muhidinov Z.K. Analysis of physical parameters of essential oils of Tajikistan's medicinal plants obtained by different methods.....	223
Bobizoda G.M., Khalimov M.M., Begmurodov R.I. Obtaining tryptofan-containing dipeptides - ligands of a combination of zinc coordination compounds and golden root extract.....	236
Zaripov J.A. Measurement of the specific heat capacity of quicklime powder and fluorite (FK-70) powder depending on time and temperature.....	248
Davlatova Kh.S., Azizkulova O.A., Solekhova G.N., Jurabekov U.M. Synthesis and physical-chemical studies of copper(II) coordination compounds with some thioamide ligands.....	255
Usmonov M.B. Phase complex of the system Na, Ca/SO ₄ , CO ₃ , F - H ₂ O at a temperature OF 75°C.....	263

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Требования к научным статьям, поступающим в научный журнал «Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук»

Все поступающие в редакцию журнала научные статьи должны соответствовать следующим требованиям: а) статья должна быть написана с соблюдением установленных требований журнала; б) статья должна быть результатом научных исследований; в) статья должна соответствовать одному из направлений (разделов) журнала.

Все поступающие в редакцию материалы проверяются на наличие заимствований из открытых источников (плагиат), проверка выполняется с помощью системы Antiplagiat. Статьи, содержащие элементы плагиата, автоматически снимаются с рассмотрения, а авторы лишаются возможности опубликовать свою работу в журнале.

Требования к оформлению научных статей:

Статья должна быть подготовлена в формате Microsoft Word, шрифтом Times New Roman, кегль 14, поля 2,5 см со всех сторон, интервал полуторный.

Объем статьи (включая аннотацию и список литературы) должен быть в пределах от 15 до 20 стр. формата А4 (не более чем 30-и страниц).

Статья должна иметь следующую структуру:

- индекс УДК (индекс можно получить в любой научной библиотеке);
- название статьи;
- фамилия и инициалы автора (ов) (например, Шарипов Д.М.);
- название организации, в которой работает автор статьи;
- аннотация и ключевые слова
- основной текст статьи;
- название статьи, аннотация и ключевые слова оформляются на трех языках (на таджикском, русском и английском языках). Аннотация не должна быть меньше 150 слов, ключевые слова оформляются в объеме от 7 до 10 слов или словосочетаний;
- список использованной литературы (не менее 20-30 наименований научной литературы) должны быть за последние 15-20 лет (издания не ранее 2000 г.), более ранние ссылки не должны превышать 10%. Список литературы оформляется согласно требованиям ГОСТ 7.1-2003 и ГОСТ 7.0.5-2008, и в 2 вариантах: 1) в оригинальном написании (таджикский, русский, английский); 2) все источники должны быть указаны (переведены) на английском языке;
- информация об авторе на русском и английском языках. Здесь указываются ФИО автора полностью, ученая степень, ученое звание (если имеются), название организации, в которой работает автор (авторы), должность автора (авторов) в данной организации, телефон, e-mail, а также почтовый адрес с место работы автора. При цитировании конкретного материала ссылки указываются в квадратных скобках [].

Таблицы, схемы, диаграммы и рисунки должны быть черно-белым, и нужно их сгруппировать и пронумеровать. Таблицы, схемы, диаграммы и рисунки должны иметь название на русском и английском языках.

При электронной подаче статьи необходимо представить 1 экземпляр статьи в распечатанном виде.

Статьи, не рекомендованные рецензентами к печати, не публикуются и не возвращаются авторам.

**ВЕСТНИК
ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия естественных наук**

Научный журнал «Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук» основан в 2012 г. Выходит 4 раз в год. Печатная версия журнала зарегистрирована в Министерстве культуры Республики Таджикистан. Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Журнал принимает научные статьи по следующим отраслям науки: математика (01.01.00), физика (01.04.00) и химические науки (02.00.00).

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), регулярно предоставляет в РИНЦ информацию в виде метаданных.

Полнотекстовая версия журнала доступна на сайте издания (www.vestnik-tnu.com).

**ВЕСТНИК
ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия естественных наук**

2023. №4.

Над номером работали:
Ответственный редактор: М.Ибодова
Редактор русского языка: О.Ашмарин
Редактор английского языка: С.Хакимова

**Издательский центр
Таджикского национального университета
по изданию научного журнала
«Вестник Таджикского национального университета.
Серия естественных наук»:**
734025, Республика Таджикистан, г.Душанбе, проспект Рудаки, 17.
Сайт журнала: www.vestnik-tnu.com
E-mail: vestnik-tnu@mail.ru
Тел.: (+992 37) 227-74-41

Подписано в печать 12.12.2023.