

ISSN 2413-452X

ПАЁМИ
ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН
Бахши илмҳои табиӣ
2023. №2.

ВЕСТНИК
ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия естественных наук
2023. №2.

BULLETIN
OF THE TAJIK NATIONAL UNIVERSITY
Series of natural sciences
2023. No.2.



МАРКАЗИ
ТАБЪУ НАШР, БАРГАРДОН 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.

САРМУҲАРИР:

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

МУОВИНИ САРМУҲАРИР:

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

МУОВИНИ САРМУҲАРИР:

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

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ

01.01.01 – Математика

Рачабов Нусрат Рачабович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Сабитов Камил Басирович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор, академики АИ Ҷумҳурии Бошқирдистон*

Одинаев Раим Назарович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Шабозов Мирғанд Шабозович *Доктори илмҳои физикаю математика, академик*

Сатторов Абдуманон Сатторович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Шерматов Нурмаҳмад *Доктори илмҳои техникӣ, профессор*

Маҷалла ба Феҳристи нашрияҳои илми тақризишавандаи Комиссияи олии аттестатсионии 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 илми Русия (РИНЦ) 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 расмӣ худро дорад, ки дар он матни муқаммали маводи ҷопӣ ҷойгир карда шудааст (www.vestnik-tnu.com).

**Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.
Баҳши илмҳои табиӣ**

– 2023. – №2.

ISSN 2413-452X

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

Маҷалла дар Маркази таъбу нашр, баргардон ва тарҷумани 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 Александрович *Доктори илмҳои физикаю математика, дотсент*

Солихов Давлат Қуватович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Маҳсудов Барот Исломович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Рашидов Чалил Рашидович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Абдуллоев Хасан Муминҷонович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Комилов Қосим *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

Султонов Низом Султонович *Доктори илмҳои физикаю математика, профессор*

02.00.00 – Илмҳои кимиё

Дегтев Михаил Иванович *Доктори илмҳои химия, профессор*

Чураев Тухтасун Чураевич *Доктори илмҳои химия, профессор*

Самихов Шонаврӯз *Доктори илмҳои химия, профессор*

Мурзубраимов Бектемир *Доктори илмҳои химия, профессор*

Мурзубраимович Кустов Андрей Владимирович *Доктори илмҳои химия, профессор*

Ибрагимов Дилшод *Доктори илмҳои химия, профессор*

Суяров Қурбонхон Чураевич *Номзади илмҳои химия, дотсент*

Рачабов Сирочиддин *Доктори илмҳои химия, профессор*

© 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 *Доктор химических наук, профессор*

Кустов Андрей Владимирович *Доктор химических наук, профессор*

Ибрагимов Дилшод Суяров *Кандидат химических наук, доцент*

Курбонхон Джураевич Раджабов 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. – №2.

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:

**Imonov 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
Nusrat Rajabovich
Sabitov Kamil Basirovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician

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 Nurmahammad

Doctor of Technical Sciences, Professor

01.04.00 - Physics

**Dvinin Sergei
Aleksandrovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Solihov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Davlat Kuvatovich

Makhsudov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Barot Islomovich

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

Nizom Sultonovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

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

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).

Bulletin of the Tajik National University.

Series of natural sciences

– 2023. – №2.

ISSN 2413-452X

The journal is registered in the Ministry of Culture of the Republic of Tajikistan, No.183\МЉ-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

МАТЕМАТИКА

ТДУ: 574.6:477.63/64

УСУЛҲОИ БАҲИСОБГИРИИ ТАЪСИРИ ОМИЛҲОИ ТАБИЙ ВА АНТРОПОГЕНӢ ДАР АМСИЛАИ МАТЕМАТИКИИ ТАШАККУЛ ВА РУШДИ МАРҲИЛАҲОИ ҲАӢТИ ОИЛАИ ЗАНБӢРИ АСАЛ

Комилиён Ф.С., Саидзода И.М.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Гузориши масъала. Оид ба хусусиятҳои биологӣ, экологӣ ва физиологӣ занбӯри асал ва тарзи зиндагӣ фаъолияти он дар оила таҳқиқотҳои илмӣ зиёде гузаронида шудаанд [5, 15-18, 24-26].

Масъалаҳои амсиласозии концептуалӣ, математикӣ ва компютери марҳилаҳои ҳаёт ва рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал бо дарназардошти хусусиятҳои ҷинсӣ, тақсмоти вазифаҳо дар байни индивидҳои оила ва таъсири бемориҳои сирояти организмҳои зараррасон ба фаъолияти онҳо низ мавриди омӯзиш, таҳлил ва таҳқиқи муфассали олимон ва муҳаққиқони соҳа қарор гирифтаанд [1-2, 7-9, 13-14, 19-23, 27].

Омӯзиш ва таҳлили минбаъдаи адабиёти соҳавӣ оид ба ташаккул ва рушди фаъолияти индивидҳои оилаи занбӯри асал ошкор сохт, ки равандҳои афзоиш, динамикаи тағйирёбӣ ва фанои индивидҳои популятсияи оилаи занбӯри асал, иқтидори истехсолии оила ва ҳаҷми асали истехсолшаванда аз якҷанд омилҳои табиӣ ва антропогенӣ саҳт вобаста мебошанд, ки ба эътибор нагирифтани онҳо метавонад боиси номукамал рӯйи қор омадани амсилаҳои таҳияшаванда ва носоҳаҳо ташаккул ёфтани натиҷаҳои ҳисобкунӣҳои амсилавӣ гарданд. Маъмулан ба ин гуна омилҳои таъсиррасон ҳарорати ҳаво, ҷангу ғубор, намнокии муҳити фаъолияти занбӯри қорӣ ва баъзе даҳолатҳои ногузири аз тарафи занбӯрпарварон анҷомшавандаро дохил мекунад, ки онҳо дар воқеъ ба раванди ҷамъоварии шаҳду гарди гули буттаву растаниҳои таъсири ҷиддӣ мерасонанд [3-4, 6, 12].

Усулҳои баҳисобгирии омилҳои таъсиррасон дар раванди амсиласозӣ. Гарчанде теъдоди омилҳои табиӣ ба фаъолияти оилаи занбӯри асал таъсиррасонанда хеле зиёд бошанд ҳам, мо зимни амсиласозии равандҳои ташаккул ва рушди марҳилаҳои ҳаёти индивидҳои оилаи занбӯр танҳо ҳарорати ҳаво – $T(t)$ ва намнокии муҳити атроф – $v(t)$ -ро ба ҳисоб гирифтаем, ки тибқи таҳлили адабиёти соҳавӣ маҳз онҳо метавонанд дар амалисозии ҳадафҳои амсиласозӣ нақши муассир дошта бошанд.

Таҷрибаҳои амалӣ собит сохтаанд, ки рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал ва фаъолияти муташаккилонаи онҳоро дар шароити сунъии парвариш дар хоҷагӣ бе даҳолати мустақими инсон ба роҳ мондан ғайриимкон аст.

Аз ин рӯ, зимни амсиласозии концептуалӣ ва математикии ин равандҳо мо таъсиррасониҳои антропогениро ба ду гурӯҳ ҷудо намудем:

якум, аз рӯйи зарурати бавучудодаи физотаъминкунии меъёрӣ ё вобаста ба мавсими сол бо ғизои иловагӣ таъмин намудани оилаи занбӯр – $R(t)$;

дуюм, татбиқ намудани амали дорудармонӣ дар марҳилаҳои зарурии ҳаёти оилаи занбӯри асал, барои пешгирӣ аз бемориҳои сироятӣ.

Дар амсиласозии қаблӣ [7-9; 19-23] мо амали дорудармониро бо ёрии β_1 ишорат намуда, онро ҳамчун дараҷаи таъсири мусбати ин амал ба беҳдошти

саломатии индивидҳои оила, дар муодилаҳои мувофиқи амсилаи математикӣ истифода карда будем.

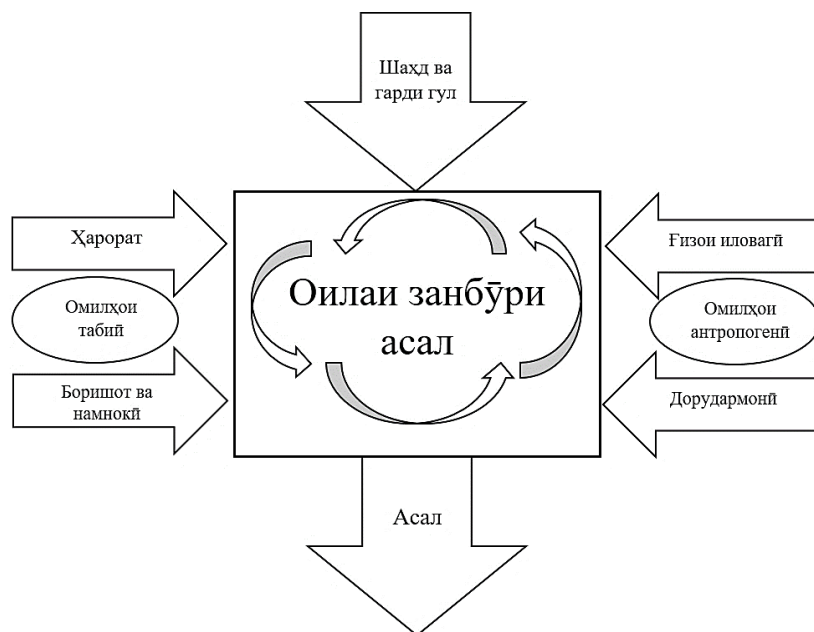
Дар заминаи андешарониҳои болозикр мо амсилаи гипотезии таъсири омилҳои табиӣ ва антропогениро ба равандҳои ташаккул ва рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал, иқтидори истеҳсолии оила ва ҳаҷми имконпазири асали истеҳсолшаванда дар намуди нақшаи дар расми 1 тасвирёфта пешкаш мекунем.

1.Тарзи баҳисобгирии ҳарорати ҳаво дар амсила. Мо оид ба нақши ҳарорати муҳити атроф дар рушди инкишоф ва фаъолияти қории индивидҳои оилаи занбӯри асал дар таҳқиқоти қаблии хеш [22] ба таври муфассал маълумот пешниҳод карда будем. Аз ҷумла зикр шуда буд, ки ҳарорати ҳаво ба тамоми равандҳои физиологии занбӯри асал таъсир мерасонад. Ҳароратҳои берун ва дохили қуттии занбӯр бояд ба равандҳои биофизикӣ ва биохимиявӣ дар оилаи занбӯр бавучудоянда ҳатман мутобиқат кунанд.

Расми 1. Амсилаи гипотезии таъсири омилҳои табиӣ ва антропогенӣ ба равандҳои ташаккул ва рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал, иқтидори истеҳсолии оила ва ҳаҷми имконпазири асали истеҳсолшаванда

Рисунок 1. Гипотетическая модель влияния природных и антропогенных факторов на процессы формирования и развития особей пчелиной семьи, продуктивность семьи и потенциальное количество производимого мёда

Figure 1. Hypothetical model of the influence of natural and anthropogenic factors on the formation and development of bee colonies, colony productivity and the potential amount of honey produced



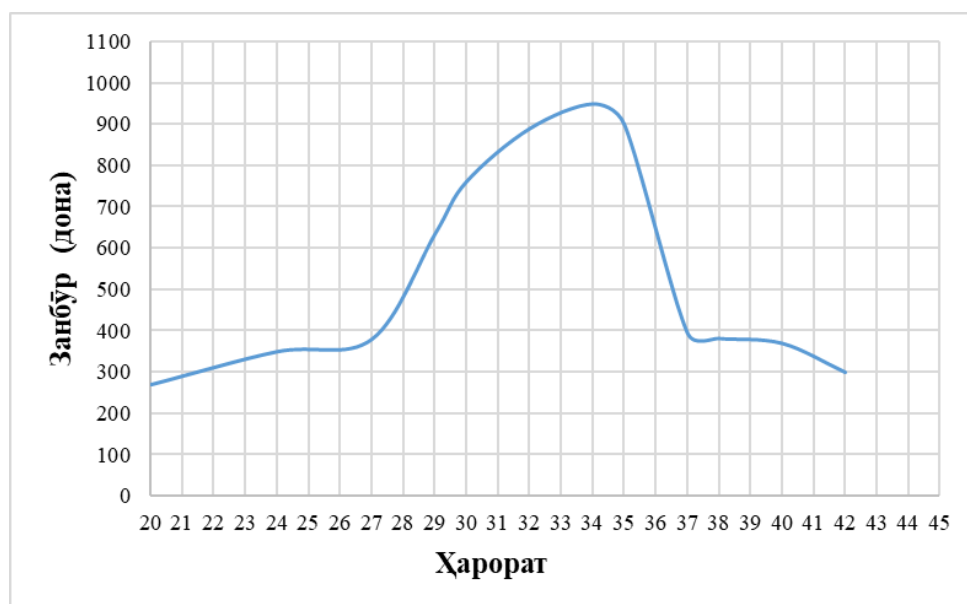
Умуман, фосилаи тоқатпазирии занбӯри асал нисбат ба ҳарорати ҳаво хеле васеъ (аз $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ то $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$) буда, организми он дар ҳароратҳои экстремалӣ низ зинда буда метавонад. Ин тоқатпазирии занбӯри асал нисбат ба ҳарорати ҳаво аз хосиятҳои ирсӣ ва модарзодии он бармеояд, ки метавонад тавассути ҳаракат ва парафшонии болҳои хеш ҳарорати бадан ва дохили қуттии оиларо устуворона муътадил нигоҳ дорад. Ҳатто ҳароратҳои оптималии рушд ва фаъолияти занбӯр низ вобаста ба фаслҳои сол метавонад дигаргун бошанд.

Дар заминаи таҳқиқотҳои илмӣ [7-11], таҷрибаҳои хусусии занбӯрпарварон ва ҷадвали эксперименталии ҳароратҳои рушду инкишофи марҳилаҳои ҳаёти занбӯри асал (аз тухм то занбӯри болиғ) мо бо ёрии ҷадвали электронии MS Excel 2016 тасвири графیکی функсияи ҳароратии эмпирикии марҳилаҳои ташаккул ва рушди индивидҳои оилаи занбӯри асалро сохтем (расми 2).

Расми 2. Намуди графیکی функсияи ҳароратии рушди индивидҳои занбӯри асал

Рисунок 2. Графический вид температурной функции развития пчелиных особей

Figure 2. Graphical view of the temperature function of the development of bees



Шакли ифодаҳои математикии (формулави) инъикоскунандаи графیکی мазкури функсияи ҳароратӣ бо истифода аз методикаи дар таҳқиқотиҳои [10-11] рӯйикоронида барқарор гардидааст:

$$f(T) = \begin{cases} -1.4286T^2 + 82.857T - 815.71, \text{ агар } 20 \leq T < 27 \\ -21T^2 + 1366T - 21318, \text{ агар } 27 \leq T < 32 \\ -67.5T^2 + 4607.5T - 77675, \text{ агар } 32 \leq T < 37 \\ -7.25T^2 + 559.5T - 10410, \text{ агар } 37 \leq T \leq 42, \end{cases} \quad (1)$$

ки дар ин ҷо ба воситаи $f(T)$ – функсияи ҳароратии худудгузори рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал шурӯъ аз марҳилаи тухмгузори модарзанбӯр то марҳилаи ба занбӯри болиғ табдил ёфтани тухмҳо ва бо ёрии $T = T(t)$ – ҳарорати миёнаи шабонарӯзӣ ($t \in [t_0; t_k], k \in N$) ишорат шудаанд [22].

2.Тарзи баҳисобгирии намнокии ҳаво дар амсила. Омили табиӣ дигаре, ки дар қатори ҳарорати ҳаво метавонад ба рушду инкишофи марҳилаҳои ҳаёт ва фаъолияти индивидҳои оилаи занбӯри асал таъсир расонад, намии ҳаво ба шумор меравад.

Ҳавои муҳити атроф ҳамеша дорои як миқдор намнокӣ мебошад, ки вазъи он аз вазъи ҳарорати муҳит саҳт вобаста буда, бо тағйир ёфтани ҳарорат мувофиқан намнокии ҳаво низ тағйир меёбад. Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки хангоми фишори муътадили атмосфера ҳарорати ҳаво ҳар қадар баланд бошад, намнокии

ҳаво низ ҳамон қадар боло меравад ва баръакс. Ин тағйирёбиҳои табиат ба ҳолати физиологӣ ва фаъолияти кории занбӯри асал бе асар наместонад.

Дар фасли тобистон, вобаста ба иқлими маҳалли ҷойгиршавии қуттии (кандуи) оилаи занбӯри асал, намнокии дохили қуттӣ метавонад аз 25% то 100%-ро ташкил диҳад. Агар ҳарорати ҳаво рӯзона ба 17-25°C баробар бошад, пас намнокии ҳавои беруни қуттии занбӯр 40-60% ва дохили он 48-84%-ро ташкил медиҳад. Шабона бошад, ҳангоми ҳарорати ҳаво ба 7-11°C баробар шудан, намнокии ҳавои беруни қуттии занбӯр 90-100% ва дохили он 30-60%-ро ташкил медиҳад. Ин далелҳо аз он гувоҳӣ медиҳанд, ки намнокии дохили қуттӣ аз намнокии беруни он ҳамеша ба кулӣ фарқ мекунад [4, 16].

Тибқи таҷрибаҳои хоҷагиҳои занбӯрпарвар ва таҳқиқотҳои илмӣ, намнокии оптималӣ барои рушди оилаи занбӯри асал ба 70-95% баробар аст. Дар ҳолати муътадил будани ҳарорати ҳаво ва намнокии он ба 60-85% баробар будан, раванди табдилёбии тухми занбӯр ба киримина 72 соатро ташкил медиҳад. Нишондоди мазкур барои рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал нишондоди беҳтарин ба ҳисоб меравад [4, 16].

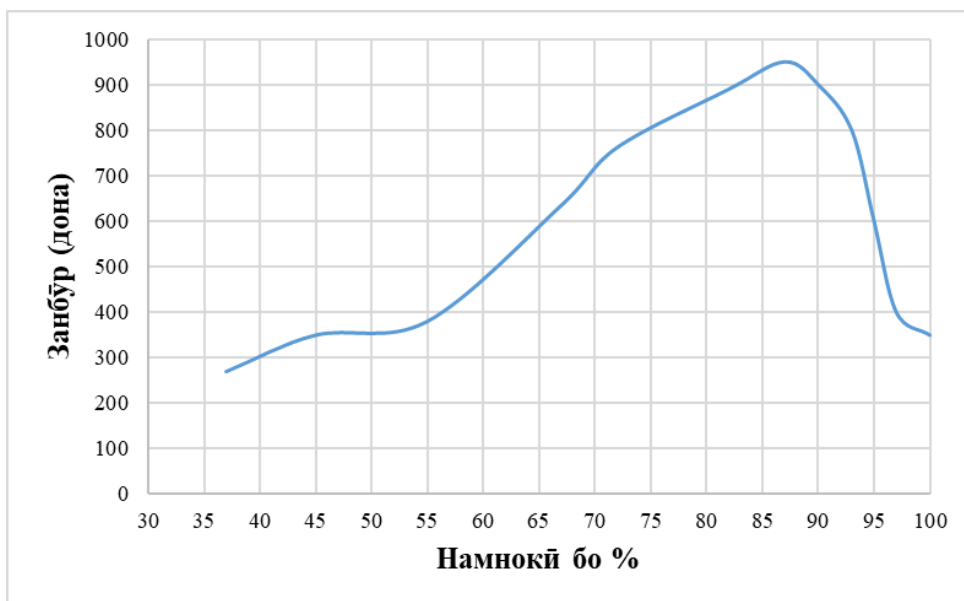
Аз таҳқиқоти [25] бармеояд, ки дар ҳарорати оптималии 34°C ва намнокии ба 85-90% баробарбудаи ҳаво аз 1000 тухми гузоштаи модарзанбӯр то ба марҳилаи занбӯри болиғ расидани онҳо 950 сар индивид боқӣ мемонад. Ин нишондод низ барои рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал нишондоди аз ҳама беҳтарин ба ҳисоб меравад.

Айнан ба мисли таҳияи функсияи ҳароратӣ дар ин маврид низ мо дар заминаи таҳқиқотҳои илмӣ [19-23], таҷрибаҳои хусусии занбӯрпарварон ва чадвали эксперименталии таъсири намнокӣ ба рушди инкишофи марҳилаҳои ҳаёти занбӯри асал (аз тухм то занбӯри болиғ) бо ёрии чадвали электронии MS Excel 2016 тасвири эксперименталии графикаи функсияи таъсири намнокиро ба марҳилаҳои ташаккул ва рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал ҳосил намудем (расми 3).

Расми 3. Намуди графикаи функсияи таъсири намнокӣ ба рушди индивидҳои популятсияи оилаи занбӯри асал

Рисунок 3. Графическое изображение функции влияния влажности на развитие особей популяции пчелиной семьи

Figure 3. Graphical representation of the function of the influence of humidity on the development of individuals in the bee colony population

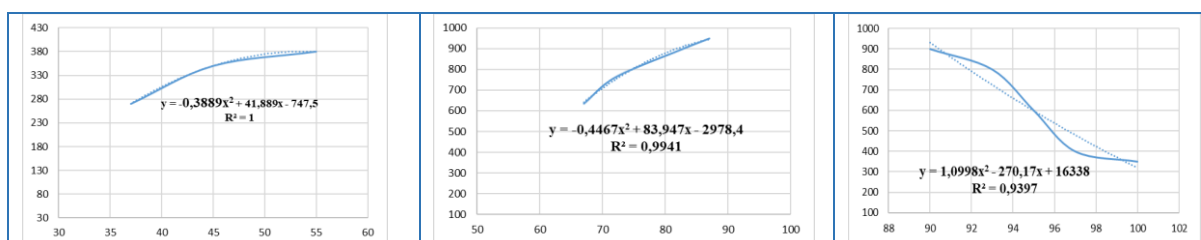


Барои сохтани формулаи математикии таъсири намноқӣ ба рушди индивидҳои популятсияи оилаи занбӯри асал тасвири графикаи дар расми 3 овардашудаи онро ба се қисм ҷудо карда (расми 4), бо истифода аз имконоти функсиясозии MS Excel 2016 (Меню зерматнӣ: Иловакунии хатти тренд► Параметрҳои хатти тренд► Номи функсияи аппроксиматсионӣ: Полиномӣ► Инъикоси ифодаи математикии Дараҷаи муътамади аппроксиматсия – R^2) функсияи математикии ба раванди мазкур мувофиқро барқарор мекунем.

Расми 4. Тасвири қисматҳои хосаи графикаи функсияи намноқии рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал ва муайянкунии формулаҳои математикии ба онҳо мувофиқ бо ёрии ҷадвали электронии MS Excel 2016

Рисунок 4. Иллюстрация характерных участков графика функции влажности развития особей пчелиной семьи и определение соответствующих им математических формул с помощью электронной таблицы MS Excel 2016

Figure 4. Illustration of the characteristic sections of the graph of the humidity function for the development of individuals of a bee colony and the definition of the corresponding mathematical formulas using the MS Excel 2016 spreadsheet



Бо дарназардошти қитъаҳои графикӣ ва ифодаҳои математикии ба онҳо мувофиқи дар расми 4 ҳосилшуда намуди умумии функсияи эмпирикии таъсири намноқиро ба рушду инкишофи индивидҳои популятсияи оилаи занбӯри асал тасвир менамоем:

$$g(v) = \begin{cases} -0.3889v^2 + 41.889v - 747.5, \text{ агар } 30 \leq v < 55 \\ -0.4467v^2 + 83.947v - 2978.5, \text{ агар } 55 \leq v \leq 87 \\ 1.0998v^2 - 270.17v + 16338, \text{ агар } 87 < v < 100, \end{cases} \quad (2)$$

ки дар ин чо бо ёрии $g(v)$ – функсияи намнокии худудгузори рушду инкишофи индивидҳои популятсияи оилаи занбӯри асал аз марҳилаи тухмгузори модарзанбӯр то марҳилаи ба занбӯри болиғ табиғ ёфтани тухмҳо ва бо ёрии $v = v(t)$ – намнокии миёнаи шабонарӯзии ҳаво ($t \in [t_0; t_k], k \in N$) ишорат шудаанд.

3. Ғарзи баҳисобгирии раванди ҷамъоварии шаҳд ва гарди гул дар амсила. Яке аз равандҳои асоситарин ва марказии ҳаёти оилаи занбӯри асал раванди ҷамъоварии шаҳд ва гарди гул ба ҳисоб мераванд, ки маҳз дар натиҷаи амалишавии ҳамин раванд маҳсули асосии фаъолияти занбӯр – асал истеҳсол мегардад.

Истеҳсоли асали хушсифат ва умуман рушди соҳаи занбӯриасалпарварӣ аз мавҷудияти набототи шаҳддиҳанда дар маҳалли ҷойгиршавии хоҷагии занбӯрпарварӣ вобастагии мустақим ва ногуастанӣ дорад. Буттаву растаниҳо ва дарахтони шаҳддиҳандаи маҳал пойгоҳҳои асосии гизои занбӯри асал ва истеҳсоли асалро ташкил медиҳанд.

Мо манбаъҳои асосии шаҳддиҳандаи занбӯри асалро дар таҳқиқотҳои пешини худ [19-23] мавриди омӯзиш, табақабандӣ ва таҳлили ҳамаҷониба қарор дода, натиҷаҳои ҳосилшударо дар шакли амсилаи концептуалӣ ҷамъбаст намуда будем. Дар ин чо мо тасмим гирифтем, ки бо истифода аз натиҷаҳои мазкур ва хулосаҳои илмии муҳаққиқони дигар раванди ҷамъоварии шаҳд ва гарди гулро аз ҷониби занбӯрони қорӣ дар амсилаи математикии таҳияшаванда тасвир намоем.

Масалан, муҳаққиқи рус Е.Г. Пономарёва дар таҳқиқоти худ [16] қайд мекунад, ки барои рушд дода тавонистани занбӯриасалпарварӣ масоҳати фарогир ва миқдори растаниҳои шаҳддиҳандаи муҳити атрофи қуттиҳои занбӯри асалро бояд ҳатман ба эътибор гирифт. Минтақаи ҷойгиршавии оилаҳои занбӯри асалро тавре интиҳоб кардан лозим аст, ки шукуфтани гули растаниҳо дар мавсими парвариш ақаллан ду маротиба сурат гирад.

Масъалаи бо истифода аз усулҳои амсиласозии математикии ҳисоб кардан ва арзёбӣ намудани майдонҳои шаҳддиҳандаи занбӯри асалро муҳаққиқони соҳа Ф.В. Армеев, В.Д. Вилосов, В.Г. Кашковский [1], А.В. Кудржов [13], А.В. Кудряков [14], А.Ф. Рибочкин [18], Ҷ.С. Айерс [27] ва дигарон дар қорҳои илмии худ мавриди баррасӣ ва таҳлил қарор додаанд.

Дар байни таҳқиқотҳои мазкур махсусан таҳқиқоти анҷомдодаи А.В. Кудржов [13], ки ба масъалаи амсиласозии ҳосилнокии экосистемаҳои шаҳддиҳанда баҳшида шудааст, бештар ҷолиб менамояд. Муаллиф дар ин таҳқиқот бо истифода аз усули умумии арзёбии ҳосилнокии экосистемаи шаҳддиҳанда ҳосилнокии гарди гули набототи муҳити атрофро бо ёрии формулаҳои математикии зерин ҳисоб намудааст:

$$Sh = W_N - Y_N, \quad (3)$$

$$W_N = \sum_{i=1}^N \int_{r_1}^{r_2} j_i(t) dt, \quad (4)$$

$$Y_N = \sum_{i=1}^N Y_i, \quad (5)$$

$$G = S \int_{r_1}^{r_2} p_i(t) dt, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Дар формулаҳои (3-6) бо ёрии Sh – ҳосилнокии ниҳоии набототи шаҳддиҳанда, W_N – воридоти умумии шаҳд, Y_N – миқдори умумии шаҳди дар давоми сол истеъмолнамудаи оилаҳои занбӯри асал, N – шумораи оилаҳои занбӯр, G – воридоти умумии гарди гул, S – ҳиссаи (коэффитсиенти) воридоти гарди гул ба оилаи занбӯр, r_1 – ибтидои мавсим, r_2 – интиҳои мавсими чамъоварии гард ва шаҳди гул, $j_i(t)$ – раванди шаҳдҳосилшавӣ ва $p_i(t)$ – раванди ҳосилшавии гарди гул аз қитъаи i -юми наботот ишорат шудаанд. Қиматҳои максималии шаҳд ва гарди

$$p_{\max} \approx 0,076 \frac{\text{мг}}{\text{дак}}$$

$$j_{\max} \approx 0,06 \frac{\text{мг}}{\text{дак}},$$

Азбаски мо дар қадами аввал танҳо як оилаи занбӯри асалро мавриди омӯзиш ва таҳқиқ қарор медихем, бинобар он, формулаҳои додашударо бо тариқи зайл сода мегардонем:

$$Sh = W - Y \quad (3.1)$$

$$W = \int_{r_1}^{r_2} j_i(t) dt, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

Раванди воридоти шаҳд ва гарди гулро барои як оилаи занбӯри асал дар намуди

$$SG = Sh + G \quad (7)$$

ва барои N оилаи занбӯр дар намуди умумии

$$SG_N = \sum_{i=1}^N (Sh_i + G_i) \quad (8)$$

тасвир мекунем.

4.Танзими раванди гизоиловакунӣ ба оилаи занбӯри асал. Аз таҷрибаи хоҷагиҳои занбӯриасалпарварӣ бармеояд, ки дар лаҳзаҳои алоҳидаи барои ҳаёти индивидҳои оилаи занбӯри асал фавқуллода муҳим зарурати ба оила додани гизои иловагӣ пеш меояд. Омилҳои муайянкунандаи чунин лаҳзаҳо хеле зиёданд: масалан, аз меъри муқаррарӣ зиёд тул кашидани мавсими зимистонгузаронӣ, боришоти тӯлонӣ, ки садди роҳи парвози занбӯрон мегардад, ҳарорати аз меъёр баланд ё пасти ҳавои муҳити атроф, ки парвози занбӯронро маҳдуд месозад ва ғайра.

Раванди физодиҳии оилаҳои занбӯр ба иқлими маҳалли ҷойгиршавии қуттиҳои онҳо низ вобастагӣ дорад: дар баъзе минтақаҳо таъмини гизо ба моҳи феврал ва дар баъзеи дигар ба моҳҳои март-апрел рост меояд. Роҳу усулҳои пешниҳоди гизои иловагӣ низ гуногун буда, ҳар як занбӯрпарвар аз усули хосаи худ истифода мебарад.

Таҳқиқотҳо собит месозанд, ки занбӯри асал танҳо пас аз ҳарорати беруни қуттӣ (канду) аз $+10^\circ\text{C}$ зиёд шудан ба овардани шаҳд ва гарди гул оғоз мекунад.

Пас, маълум мешавад, ки дар ҳолати ҳарорати ҳаво аз $+10^{\circ}\text{C}$ паст будан, овардани шаҳд ва гарди гул барои оилаи занбӯр имкон надорад [15].

Маъмулан, ғизои иловагии занбӯр бо усулҳои гуногун (маҳлули шакару об, хамиртурӯшу асал ва ғайра) дар намуди шарбат омода карда мешавад. Меъёрҳои оmodасозии шарбат бо истифода аз шакар ва об дар чадвали 1 нишон дода шудааст.

Чадвали 1. Усули оmodасозии шарбат ба сифати ғизои иловагии занбӯри асал [15]

Таблица 1. Способ приготовления сиропа в качестве подкормки для пчел [15]
Table 1. The method of preparation of syrup as a top dressing for bees [15]

Тарзи оmodасозӣ	Концентратсияи ғизои иловагии (шарбати) занбӯри асал барои рӯзи $Q_i(t)$ -и мавсими ғизодиҳӣ ($i = 1, 2, \dots, n$)							
	2÷1 (70%)		1,5÷1 (60%)		1÷1 (50%)		1÷1,5 (40%)	
	шакар (кг)	об (л)	шакар (кг)	об (л)	шакар (кг)	об (л)	шакар (кг)	об (л)
1	0,9	0,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7
2	1,8	0,9	1,6	1,1	1,3	1,3	0,9	1,4
3	2,8	1,4	2,4	1,6	1,9	1,9	1,4	2,1
4	3,7	1,8	3,2	2,1	2,5	2,5	1,9	2,8
5	4,6	2,3	4,0	2,7	3,1	3,1	2,3	3,5

Ҳоҷагиҳои занбӯриасалпарвариро зарур аст, ки ба масъалаи таъминоти оилаҳои занбӯр бо ғизои иловагӣ аз мавсими тирамоҳ чораандешӣ кунанд. Зеро дар ҳолати нокифоя будани манбаъҳои ғизоӣ, дар фасли сарди зимистон аз эҳтимол дур нест, ки қисми зиёди оилаҳои занбӯр талаф ёбанд. Аз ин рӯ, занбӯрпарварон метавонанд дар дуруст таъмин намудани оилаҳои занбӯри асал бо ғизои иловагӣ аз пешниҳодоти методи Н.С. Чернев [24], В.В. Жилин [5], А.Р. Шарипов [26], Ҷурабоева [25] ва ғайра истифода баранд.

Муҳаққиқи тоҷик АР. Шарипов дар таҳқиқоти илмиаш [26] масъалаи зимистонгузаронии оилаҳои занбӯри асал ва истеъмоли ғизои иловагиро аз тарафи онҳо барои шароити минтақаҳои Тоҷикистони Шимолӣ дар солҳои 2013-2017 чунин муайян кардааст (ҷадвали 2).

Чадвали 2. Сарфи микдори ғизои иловагӣ барои занбӯрони асали зотҳои карпатӣ ва бакфаст дар мавсими зимистони солҳои 2013-2017

Таблица 2. Расход подкормки пчел карпатской и бакфастской пород в зимний период 2013-2017 гг.

Table 2. Consumption of feeding bees of the Carpathian and Buckfast breeds in the winter period of 2013-2017

Зоти занбӯр	Микдори ғизои иловагии сарфшуда (кг)					
	Заҳира	Солҳои 2013-2014	Солҳои 2014-2015	Солҳои 2015-2016	Солҳои 2016-2017	Солҳои 2017-2018
Карпатӣ	12	4,2	4,9	4,1	4,1	4,1
Бакфаст	12	4,2	4,8	4,3	4,2	4,3

Бо ҳисоби миёна	12	4,2	4,85	4,2	4,15	4,2
-----------------	----	-----	------	-----	------	-----

Бо ёрии $U_i(t), i = 1, 2, \dots, n$ манбаи ғизои i -юми оилаи занбӯри асалро ишорат намуда, дар заминаи маълумотҳои ададии ҷадвалҳои 1 ва 2 функсияи идоракунии эмпирикии раванди таъмини ғизои иловаги $R_{1i}(t)$ -ро дар рӯзи $Q_i(t)$ -и мавсими ғизодиҳи барои зочаҳо $Z_1(t_i)$ ва занбӯрони кориҳои болиғ $M_1(t_i)$ -и оилаи занбӯри асал дар намуди зерин тасвир мекунем:

$$R_{1i}(t) = \begin{cases} 0, & \text{агар } (U_i(t) = 1 \cup 0 < SG \leq 1) \\ Z_1(t_i) \cdot Q_i(t), & \text{агар } (0 \leq U_i(t) < 1 \cup SG = 0) \\ M_1(t_i) \cdot Q_i(t), & \text{агар } (0 \leq U_i(t) < 1 \cup SG = 0). \end{cases} \quad (9)$$

Айнан ҳамин гуна функсияи идоракунии эмпирикии раванди таъмини ғизои иловагиро $R_{2i}(t)$ дар рӯзи $Q_i(t)$ барои зочаҳо $Z_2(t_i)$ ва наранзанбӯрҳои болиғ $M_2(t_i)$ дар намуди зерин тасвир мекунем:

$$R_{2i}(t) = \begin{cases} 0, & \text{агар } (U_i(t) = 1 \cup 0 < SG \leq 1) \\ Z_2(t_i) \cdot Q_i(t), & \text{агар } (0 \leq U_i(t) < 1 \cup SG = 0) \\ M_2(t_i) \cdot Q_i(t), & \text{агар } (0 \leq U_i(t) < 1 \cup SG = 0). \end{cases} \quad (10)$$

Ҳамин тариқ, бо ёрии функсияҳои эмпирикии (9) ва (10) раванди таъмини зочаҳои занбӯр $Z_1(t_i), Z_2(t_i), i = 1, 2, \dots, 6$ ва занбӯрони болиғи ҳар ду ҷинсро $M_1(t_i), M_2(t_i), i = 1, 2, \dots, n$ дар мавсими ғизодиҳи пурра идора кардан мумкин аст.

Амсилаи математикӣ. Бо дарназардошти андешаҳои болозикр оид ба усулҳои баҳисобгирии таъсири омилҳои табиӣ ва антропогенӣ (расмҳои 1-4) дар амсилаи математикии ташаккул ва рушди марҳилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал (формулаҳои (1)-(10), ҷадвалҳои 1-2) ва фикру мулоҳизаҳои таҳқиқотии қаблӣ [7-9, 19-23] дар хусуси амсиласозии концептуалӣ, математикӣ ва компютери ташаккул, рушду инкишоф ва фаъолияти оилаи занбӯри асал дар ҳамбастагӣ бо марҳилаҳои асосии ҳаёти он (тухмгузорию модарзанбӯр, давраи кирминаӣ, пешаззочавӣ, зочавӣ, занбӯри болиғ), хусусиятҳои ҷинсии индивидҳои занбӯр, таъсири бемориҳои сироятӣ ва организмҳои зараррасон ба зиндагӣ ва фаъолияти оилаи занбӯри асал амсилаи математикии [8, 20] такмилёфтаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{dE_1}{dt} = f_i(T) \cdot [\delta_{11}k_1E_m(t) - (\delta_{12} + \mu_{11})E_1(t) - b_{11}E_1(t)B_z(t) - m_{11}E_1(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v);$$

$$\frac{dE_2}{dt} = f_i(T) \cdot [\delta_{21}k_2E_m(t) - (\delta_{22} + \mu_{21})E_2(t) - b_{21}E_2(t)B_z(t) - m_{21}E_2(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v);$$

$$\frac{dK_1}{dt} = f_i(T) \cdot [\delta_{12}E_1(t) - (\delta_{13} + \mu_{12})K_1(t) - b_{12}K_1(t)B_z(t) - m_{12}K_1(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v);$$

$$\begin{aligned}
\frac{dK_2}{dt} &= f_i(T) \\
&\quad \cdot [\delta_{22}E_2(t) - (\delta_{23} + \mu_{22})K_2(t) - b_{22}K_2(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{22}K_2(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v); \\
\frac{dP_1}{dt} &= f_i(T) \cdot [\delta_{13}K_1(t) - (\delta_{14} + \mu_{13})P_1(t) - b_{13}P_1(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{13}P_1(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v); \\
\frac{dP_2}{dt} &= f_i(T) \cdot [\delta_{23}K_2(t) - (\delta_{24} + \mu_{23})P_2(t) - b_{23}P_2(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{23}P_2(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v); \\
\frac{dZ_1}{dt} &= f_i(T) \cdot [\delta_{14}P_1(t) + U_i(t) \cdot Z_1(t) - (\delta_{15} + \mu_{14})Z_1(t) - b_{14}Z_1(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{14}Z_1(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v) + R_{1i}(t); \\
\frac{dZ_2}{dt} &= f_i(T) \cdot [\delta_{24}P_2(t) + U_i(t) \cdot Z_2(t) - (\delta_{25} + \mu_{24})Z_2(t) - b_{24}Z_2(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{24}Z_2(t)H_{oz}(t)] \cdot g_i(v) + R_{2i}(t); \\
\frac{dM_1}{dt} &= f_i(T) \\
&\quad \cdot [\delta_{15}Z_1(t) + U_i(t) \cdot M_1(t) - \mu_{15}M_1(t) - b_{15}M_1(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{15}M_1(t)H_{oz}(t) - c_1M_1(t)H_{az}(t) - p_1M_1(t)P_z(t)] \cdot g_i(v) \\
&\quad + R_{1i}(t); \\
\frac{dM_2}{dt} &= f_i(T) \\
&\quad \cdot [\delta_{25}Z_2(t) + U_i(t) \cdot M_2(t) - \mu_{25}M_2(t) - b_{25}M_2(t)B_z(t) \\
&\quad - m_{25}M_2(t)H_{oz}(t) - c_2M_2(t)H_{az}(t) - p_2M_2(t)P_z(t)] \cdot g_i(v) \\
&\quad + R_{2i}(t); \\
\frac{dB_z}{dt} &= \alpha_1 B_z(t) \\
&\quad + [b_{11}E_1(t) + b_{21}E_2(t) + b_{12}K_1(t) + b_{22}K_2(t) + b_{13}P_1(t) \\
&\quad + b_{23}P_2(t) + b_{14}Z_1(t) + b_{24}Z_2(t) + b_{15}M_1(t) \\
&\quad + b_{25}M_2(t)] \cdot B_z(t) - \beta_1 B_z(t); \\
\frac{dH_{oz}}{dt} &= \alpha_2 H_{oz}(t) \\
&\quad + [m_{11}E_1(t) + m_{21}E_2(t) + m_{12}K_1(t) + m_{22}K_2(t) + m_{13}P_1(t) \\
&\quad + m_{23}P_2(t) + m_{14}Z_1(t) + m_{24}Z_2(t) + m_{15}M_1(t) \\
&\quad + m_{25}M_2(t)] \cdot H_{oz}(t) - \beta_2 H_{oz}(t); \\
\frac{dH_{az}}{dt} &= \alpha_3 H_{az}(t) + [c_1M_1(t) + c_2M_2(t)] \cdot H_{az}(t) - \beta_3 H_{az}(t);
\end{aligned}$$

$$\frac{dP_z}{dt} = \alpha_4 P_z(t) + [p_1 M_1(t) + p_2 M_2(t)] \cdot P_z(t) - \beta_4 P_z(t).$$

Натиҷаҳо ва хулосаҳои чамъбасти:

1. Омилҳои табиӣ ва антропогении ба равандҳои ташаккул ва рушди марҳилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал таъсиркунанда мавриди омӯзиш, таҳлил ва таҳқиқ қарор дода шуда, дар ин замина амсилаи гипотезии низоми парвариши занбӯри асал таҳия гардидааст.

2. Дар асоси таҳқиқотҳои илмӣ, таҷрибаҳои хусусии занбӯрпарварон ва ҷадвалҳои эксперементалии таъсири ҳарорат ва намнокии ҳаво ба рушду инкишофи индивидҳои оилаи занбӯри асал (аз тухм то занбӯри болиғ) бо ёрии ҷадвали электронии MS Excel 2016 тасвирҳои графикӣ ва математикии функсияҳои эмпирикии таъсири ин омилҳои табиӣ ба равандҳои мазкур сохта шудаанд.

3. Бо истифода аз натиҷаҳо ва хулосаҳои илмии муҳаққиқони соҳаи занбӯриасалпарварӣ раванди чамъоварии шахд ва гарди гул аз ҷониби занбӯрони корӣ ба шакли формулаҳои математикӣ дароварда шудааст.

4. Дар заминаи маълумотҳои эксперименталӣ функсияҳои эмпирикии идоракунии раванди таъмини гизои иловагӣ дар мавсими зимистон барои зочаҳои занбӯр ва занбӯрони болиғи ҳарду чинси оилаи занбӯри асал сохта шудаанд.

5. Бар пояи функсияҳои эмпирикии таҳияшуда амсилаи математикии мавҷудаи рушд ва фаъолияти индивидҳои оилаи занбӯри асал такмили минбаъдаи худро ёфтааст.

АДАБИЁТ

1. Армеев, В.Ф. Имитационное моделирование в пчеловодстве / В.Ф. Армеев, В.Д. Виллисов, В.Г. Кашковский // Пчеловодство. – 1987. – № 7. – С. 6-7.
2. Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
3. Болдыров, С.Я. Регулирование температуры и влажности воздуха в зимовниках / С.Я. Болдырев // Вопросы промышленной технологии производства продуктов пчеловодства. – Рязан, 1978. – С. 173-190.
4. Влажность воздуха в жизни пчёл [Электронный ресурс] // <https://apiary.su/biologiya-pchelinoj-semi/vlazhnost-vozduha-v-zhizni-pchyo/>?ysclid=lg680j8 hbl848025895/ (Дата обращения: 05.04.23).
5. Жилин, В.В. Комплексное использование ранневесенних отводков в условиях варроатозной инвазии: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / В.В. Жилин. – Уфа, 2000. – 19 с.
6. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Карпов // СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
7. Комилиён, Ф.С. Амсиласозии математикии марҳилаҳои ҳаёти популясияи оилаи занбӯри асал / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. – 2022. – № 2-1 (96). – С. 5-14. – EDN: ILDIZS.
8. Комилиён, Ф.С. Амсиласозии математикии таъсири беморҳои сирояткунанда ва организмҳои зараррасон ба рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. – 2022. – № 2. – С. 28-42.
9. Комилиён, Ф.С. Таҳлили математикии амсилаи марҳилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал аз рӯйи хусусиятҳои чинсӣ / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2022. – № 3. – С. 20-35.
10. Комилов, Ф.С. Амсиласозии компютери ҳаёти гулмоҳӣ дар бассейн. Монография / Ф.С. Комилов, Ф.Т. Шамсов. – Душанбе: Ирфон, 2021. – 140 с. – EDN: IPOOTB.
11. Комилов, Ф.С. Математическое моделирование экосистем водохранилищ / Ф.С. Комилов, В.П. Пархоменко. – М.: ВЦ РАН, «Сообщение по прикладной математике», 2003. – 46 с. – EDN: QKMEUH.
12. Кормление пчел [Электронный ресурс] // <https://wseopcholah.wordpress.com/bee-feeding/> (Дата обращения: 30.03.23).
13. Кудржов, А.В. Моделирование продуктивности нектаропродуктивных (агро) экосистем: дисс ... кан. наук / А.В. Кудржов. – Екатеринбург, 2007. – 168 с.
14. Кудряков, А.В. Простая модель функционально-возрастного состава пчелиных семей и некоторые её приложения / А.В. Кудряков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2006. – Т. 8. – № 2. – С. 556-563.

15. Питание пчел для увеличения производства меда [Электронный ресурс] // <https://greenfieldparts.ru/paseka/belkovaya-podkormka-pchel.html?ysclid=ift6brahqob256726305/> (Дата обращения: 30.03.23).
16. Пономарева, Е.Г. Медоносные ресурсы и опыление сельскохозяйственных растений / Е.Г. Пономарева, Н.Б. Детерлеева // М.: Агропромиздат, 1986. – 224 с.
17. Пчела и окружающая среда [Электронный ресурс] // <https://studfile.net/preview/7041235/page:2/> (Дата обращения: 06.04.23).
18. Рыбочкин, А.Ф. Контроль и управление жизнедеятельностью пчелиных семей: дисс ... док. наук / А.Ф. Рыбочкин. – М., 2004. – 644 с.
19. Саидзода, И.М. Амсиласозии математикии популятсияи оилаи занбӯри асал / И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон. – 2022. – № 2 (41). – С. 215-220.
20. Саидзода, И.М. Барномасозии компютери фаъолияти занбӯри асал вобаста ба таъсири бемориҳо ва зараррасонҳо / И.М. Саидзода, Ф.С. Комилиён // Паёми донишгоҳи давлатии Хоруғ. – 2023. – № 1. – С. 45-56.
21. Саидзода, И.М. Компьютерное моделирование популяции медоносной пчелиной семьи методом Рунге-Кутта / И.М. Саидзода, Ф.С. Комилиён // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. – № 2. – С. 26-42. – EDN: QFYLAI.
22. Саидзода, И.М. Нақши ҳарорат дар рушди оилаи занбӯри асал / И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. – 2023. – № 2. – С. 27-38.
23. Саидов, И.М. Асосҳои амсиласозии риёзӣ / И.М. Саидов. – Душанбе: Мехроҷ-граф, 2020. – 152 с.
24. Чернев, Н.С. Особенности подготовки и зимнего содержания пчелиных семей в условиях Южного Урала: автореф. дис ... канд. с.-х. наук / Н.С. Чернов. – Москва, 1987. – 20 с.
25. Чурабоева, Ҳ.Н. Таъсири омилҳои экологӣ ба тухмгузори модарзанбӯр ва маҳсулнокии оилаҳои занбӯрони асал дар шароити ноҳияи Кӯшонӣни вилояти Хатлон: дисс... номз. илмҳои кишоварзӣ / Ҳ.Н. Чурабоева. – Душанбе, 2021. – 134 с.
26. Шарипов, А.Р. Хусусиятҳои биологӣ хоҷагидорӣ зотҳои занбӯрони асал дар шароити Тоҷикистони шимолӣ: дисс... номз. илмҳои кишоварзӣ / А.Р. Шарипов. – Душанбе, 2019. – 150 с.
27. Ayers, G.S. The other side of beekeeping: a simple model for viewing bee forage plantings / G.S. Ayers // *Am. BeeJ.* – 1992. – Vol. 132. – No. 1. – Pp.703-706.

REFERENCES

1. Armeev, V.F. Simulation in beekeeping / V.F. Armeev, V.D. Villisov, V.G. Kashkovsky // *Beekeeping.* – 1987. – No. 7. – Pp.6-7.
2. Bezruchko, B.P. Mathematical modeling and chaotic time series / B.P. Bezruchko, D.A. Smirnov. – Saratov: GosUNC "College", 2005. – 320 p.
3. Boldyrov, S.Ya. Regulation of temperature and air humidity in winter houses / S. Ya. Boldyrev // *Issues of industrial technology for the production of bee products.* – Ryazan, 1978. – Pp.173-190.
4. Air humidity in the life of bees [Electronic resource] // <https://apiary.su/biologiya-pchelinoj-semi/vlazhnost-vozduha-v-zhizni-pchyo/?ysclid=lg680j8hbl848025895/> (Date of access: 04.05.23).
5. Zhilin, V.V. Complex use of early spring layering in conditions of varroa invasion: author. diss. ... cand. agricultural sciences / V.V. Zhilin. – Ufa, 2000. – 19 p.
6. Karpov, Yu. Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5 / Yu. Karpov. – SPb.: BHV-Petersburg, 2005. – 400 p.
7. Komilyon, F.S. Mathematical modeling of the stages of life of a bee family population / F.S. Komilyon, I.M. Saidzoda // *Bulluten of Bokhtar State University named after Nosiri Khusrav.* – 2022. – No. 2-1 (96). – Pp.17-21.
8. Komilyan, F.S. Mathematical modeling of the influence of infectious diseases and harmful organisms on the development of individuals of the bee family / F.S. Komilyan, I.M. Saidzoda // *Message of Dangara State University.* – 2022. – No. 2. – Pp.28-42.
9. Komilyon, F.S. Mathematical analysis of a series of stages in the life of a bee family by sexual characteristics / F.S. Komilyon, I.M. Saidzoda // *Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences.* – 2022. – No. 3. – Pp.99-104.
10. Komilyon, F.S. Computer simulation of trout life in a basin / F.S. Komilyon, F.T. Shamsov. – Dushanbe: Irfon, 2021. – 140 p. - EDN IPOOTB.
11. Komilov, F.S. Mathematical modeling of reservoir ecosystems / F.S. Komilov, V.P. Parkhomenko. – М.: CC RAS, "Communication on Applied Mathematics", 2003. – 46 p. – EDN: QKMEUH.
12. Feeding bees [Electronic resource] // <https://wseopcholah.wordpress.com/bee-feeding/> (Accessed: 03.30.23).
13. Kudrzhov, A.V. Modeling the productivity of nectar-producing (agro) ecosystems: diss ... can. sciences / A.V. Kudrzhov. – Yekaterinburg, 2007. – 168 p.

14. Kudryakov, A.V. A simple model of the functional-age composition of bee colonies and some of its applications / A.V. Kudryakov // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2006. – Vol. 8. – No. 2. – Pp.556-563.
15. Feeding bees to increase honey production [Electronic resource] // <https://greenfieldparts.ru/paseka/belkovaya-podkormka-pchel.html?ysclid=ift6pahqob256726305/> (Date of access: 30.03.23).
16. Ponomareva, E.G. Honey resources and pollination of agricultural plants / E.G. Ponomareva, N.B. Deterleeva. – M.: Agropromizdat, 1986. – 224 p.
17. Bee and the environment [Electronic resource] // <https://studfile.net/preview/7041235/page:2/> (Date of access: 04.06.23).
18. Rybochkin, A.F. Control and management of the life of bee colonies: diss ... doc. sciences / A.F. Rybochkin. – M., 2004. – 644 p.
19. Saidzoda, I.M. Development of a mathematical model for studying the dynamics of fish populations in the ecosystem of the reservoir "Tajik Sea" / I.M. Saidzoda, M.R. Yorov, I.Sh. Mamadnazarov // Herald of the Tajik State University of Commerce. – 2021. – No. 1 (38). – Pp.173-180. - EDN PBOFLW.
20. Saidzoda, I.M. Computer programming of bee activity related to the effects of diseases and pests / I.M. Saidzoda, F.S. Perfections // Bulluten of Khorog State University. – 2023. – No. 1. – Pp.45-56.
21. Saidzoda, I.M. Computer simulation of the population of the honey bee colony by the Runge-Kutta method / I.M. Saidzoda, F.S. Komiliyon // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2022. – No. 2. – Pp.26-42. – EDN: QFYLAJ.
22. Saidzoda, I.M. The role of temperature in the development of the bee family / I.M. Saidzoda // Message of Dangara State University. – 2023. – No. 2. – Pp.27-38.
23. Saidov, I.M. Basics of mathematical modeling / I.M. Saidov. – Dushanbe: Mehroj-graf, 2020. – 152 p.
24. Chernov, N.S. Features of the preparation and winter maintenance of bee colonies in the conditions of the Southern Urals: author. dis ... cand. agricultural sciences / N.S. Chernov. – M., 1987. – 20 p.
25. Jurabaeva, H.N. The influence of ecological and biological factors on the egg-laying of queen bees and the productivity of bee families in the conditions of Kushanian district of Khatlon region: diss... can. agricultural sciences / H.N. Jurabaeva. – Dushanbe, 2021. – 134 p.
26. Sharipov, A.R. Biological and economic features of bee breeds in the conditions of Northern Tajikistan: diss... can. agricultural sciences / A.R. Sharipov. – Dushanbe, 2019. – 150 p.
27. Ayers, G.S. The other side of beekeeping: a simple model for viewing bee forage plantings / G.S. Ayers // Am. BeeJ. – 1992. – Vol. 132. – No. 1. – Pp.703-706.

УСУЛҲОИ БАҲИСОБГИРИИ ТАЪСИРИ ОМИЛҲОИ ТАБИӢ ВА АНТРОПОГЕНӢ ДАР АМСИЛАИ МАТЕМАТИКИИ ТАШАККУЛ ВА РУШДИ МАРҲИЛАҲОИ ҲАӢТИ ОИЛАИ ЗАНБӢРИ АСАЛ

Дар мақола омилҳои табиӣ ва антропогенӣ ба равандҳои ташаккул ва рушди марҳилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал таъсиркунанда мавриди омӯзиш, таҳлил ва таҳқиқ қарор дода шуда, дар ин замина амсилаи гипотезии низоми парвариши занбӯри асал таҳия гардидааст. Дар асоси таҳқиқотҳои илмӣ, таҷрибаҳои хусусии занбӯрпарварон ва чадвалҳои эксперименталии таъсири ҳарорат ва намнокии ҳаво ба рушди инкишофи индивидҳои оилаи занбӯри асал (аз тухм то занбӯри болиғ) бо ёрии чадвали электронии MS Excel 2016 тасвирҳои графикӣ ва математикии функсияҳои эмпирикии таъсири ин омилҳои табиӣ сохта шуда, раванди чамъоварии шахд ва гарди гул ба шакли формулаҳои математикӣ дароварда шудааст. Дар заминаи маълумотҳои эксперименталӣ функсияҳои эмпирикии идоракунии раванди таъмини ғизои иловагӣ барои зочаҳои занбӯр ва занбӯрони болиғи харду чинси оилаи занбӯри асал сохта шуда, бар пояи ин функсияҳо амсилаи математикии мавҷудаи рушд ва фаъолияти индивидҳои оилаи занбӯри асал тақмили минбаъда ёфтааст.

Калидвожаҳо: омилҳои табиӣ, омилҳои антропогенӣ, амсиласозии гипотезӣ, амсиласозии математикии, функсияи эмпирикӣ, чадвали экспериментҳо, оилаи занбӯри асал, марҳилаи ҳаёт, хусусиятҳои чинсӣ, модарзанбӯр, занбӯри қорӣ, назанбӯр, индивид.

МЕТОДЫ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭТАПОВ ЖИЗНИ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛИНОЙ СЕМЬИ

В статье изучаются, анализируются и исследуются природные и антропогенные факторы, влияющие на процессы формирования и развития жизненных этапов пчелиной семьи, и в этом контексте разрабатывается гипотетическая модель системы пчеловодства. На основе научных исследований, личного опыта пчеловодов и экспериментальных таблиц влияния температуры и влажности воздуха на развитие особей пчелиной семьи (от яиц до взрослых пчел) с помощью

электронной таблицы MS Excel 2016 построены графические и математические изображения эмпирических функций влияния этих природных факторов. Процесс сбора нектара цветов приведен в виде математических формул. На основе экспериментальных данных построены эмпирические функции управления процессом обеспечения прикормом куколок пчел и взрослых пчел обоего пола индивидов пчелиной семьи. На основе этих функций получило дальнейшее усовершенствование существующая математическая модель развития особей пчелиной семьи.

Ключевые слова: природный фактор, антропогенный фактор, гипотетическое моделирование, математическое моделирование, эмпирическая функция, таблица экспериментов, пчелиная семья, этап жизни, половые признаки, пчела-мать, рабочая пчела, пчела-трутень, особь.

METHODS FOR ACCOUNTING FOR THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN THE MATHEMATICAL MODEL FOR THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE LIFE STAGES OF A HONEY BEE FAMILY

The article studies, analyzes and investigates natural and anthropogenic factors influencing the processes of formation and development of the life stages of a bee colony, and in this context a hypothetical model of the beekeeping system is developed. Based on scientific research, personal experience of beekeepers and experimental tables of the influence of temperature and air humidity on the development of bee colony individuals (from eggs to adult bees), graphical and mathematical images of the empirical functions of the influence of these natural factors are constructed using an MS Excel 2016 spreadsheet. The process of collecting flower nectar is given in the form of mathematical formulas. On the basis of experimental data, empirical functions for managing the process of providing food for bee pupae and adult bees of both sexes of bee colony individuals were constructed. On the basis of these functions, the existing mathematical model for the development of bee colonies has been further improved.

Keywords: natural factor, anthropogenic factor, hypothetical modeling, mathematical modeling, empirical function, table of experiments, bee family, life stage, sexual characteristics, mother bee, worker bee, drone bee, individual.

Маълумот оид ба муаллифон: **Комилиён Файзали Саъдулло** – доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

Саидзода Исроил Маҳмад – номзоди илмҳои техники, мудири кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **E-mail:** isroil-84@list.ru.

Сведения об авторах: **Комилиён Файзали Саъдулло** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информатики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

Саидзода Исроил Маҳмад – кандидат технических наук, заведующий кафедрой информатики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **E-mail:** isroil-84@list.ru.

Information about the authors: **Komiliyon Fayzali Sa'dullo** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Informatics Department of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

Saidzoda Isroil Mahmud – Candidate of Technical Sciences, Head of the Informatics Department of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **E-mail:** isroil-84@list.ru.

Муқарриз: Чалилов Х.М. – номзоди илмҳои физикаю математика, дотсенти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

ТАДҚИКИ МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРТИБИ ЯКУМИ МОДЕЛӢ БО СЕ НУҚТАИ МАХСУС

Зарифзода С.Қ., Розиков М.Т.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Пешгӯфтор. Муодилаҳои интегро-дифференциалӣ ҳангоми тадқиқи масъалаҳои гуногуни мазмуни физикӣ ё механикӣ дошта, пайдо мешаванд. Масалан, ҳангоми масъалаи флукуатсияи равшаноии ситораҳоро омӯхтан, ҳангоми омӯхтани равандҳои физикие, ки дар худ хотираро дар бар мегиранд, ҳангоми омӯхтани аэродинамикаи қаноти таёраҳо омӯхтан, маҳз муодилаҳои интегро-дифференциалӣ пайдо мешаванд. Ҳангоми аэродинамикаи қаноти таёраҳоро омӯхтан муодилаи интегро-дифференциалии сингулярии зерин пайдо мешавад.

$$\frac{\Gamma(x)}{B(x)} - \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{\Gamma'(t)}{t-x} dt = f(x), \quad (1)$$

ки он дар адабиётҳо бо номи муодилаи Прандтл машҳур аст. Ба тадқиқи ин муодила корҳои илмӣ олимони зиёд бахшида шудааст. Масалан, корҳои И.Н. Векуа [1] ва Л.Г. Магнарадзе [3]. Муодилаи интегро-дифференциалии сингулярии намуди умумии

$$\sum_{r=0}^m \left[a_r(t_0) \varphi^r(t_0) + \frac{1}{\pi i} \int_L \frac{k(t_0, t) \varphi^{(r)}(t)}{t-t_0} dt \right] = f(t_0) \quad (2)$$

аввалин бор аз тарафи Л.Г. Магнарадзе [4] омӯхта шудааст. Як боби монографияи илмӣ Н.П. Векуа [2] низ ба тадқиқ ва ёфтани роҳҳои гуногуни ҳалли муодилаи (2) бахшида шудааст. Қайд намудан зарур аст, ки барои муодилаҳои (1) ва (2) мафҳуми сингулярнокӣ дар маънои сарқимат аз рӯи Коши фаҳмида мешавад. Яъне интегралҳои дар ин муодилаҳо иштирок кунанда, интегралҳои қачхата мебошанд ва ядрои онҳо нуқтаи сингулярии дараҷаи якро дар бар мегирад. Ҳангоми тадқиқи ин гуна муодилаҳо методҳои назарияи аналитикии функсияҳо васеъ истифода бурда мешавад.

Дар муқоиса бо ин синфи дигари муодилаҳои интегро-дифференциалӣ мавҷуд аст, ки дар онҳо мафҳуми сингулярнокӣ дар маънои дигар фаҳмида мешавад. Масалан дар мактаби илмӣ математикии шаҳри Иркутски Федератсияи Россия сингулярнокии муодилаи интегро-дифференциалӣ дар маънои мавҷудияти оператори барнагарданда дар назди ҳосилаи тартиби баланд, фаҳмида мешавад. Тадқиқи муодилаҳои таназулбанди интегро-дифференциалӣ дар фазоҳои банаҳӣ аз қори Н.А. Сидиров [5] оғоз ёфтааст. Дар ин қор дар синфи функсияҳои бифосила муодилаи интегралӣ абстрактии намуди Волтерраи

$$BU(t) - \int_0^t k(t-s)u(s) ds = f(t) \quad (3)$$

мавриди тадқиқот қарор гирифтааст, ки дар ин ҷо B ва $k(t)$ операторҳои хаттии маҳкам ва B – оператори Фредгольмӣ мебошад. Идеи тадқиқи муодилаи (3) барои объектҳои табиаташон мураккабтар, яъне муодилаҳои интегро-дифференциалии

хатти таназулёбандаи намуди Волтерраи тартибашон баланд бо коэффициентҳои оператории тағйирёбанда дор қорҳои И.В. Фалалеев [6] умумӣ гардонида шудааст. Маълумоти муффасалро оид ба тадқиқи ин синфи муодилаҳо аз монографияи илмии С.С. Орлов бо номи «Обобщенные решения интегро-дифференциальных уравнений высоких порядков в банаховых пространствах» [7] ва рӯйхати адабиётҳои дар он истифодашуда, дастрас намудан мумкин аст.

Агар мафҳуми сингулярноқӣ дар муодила дар маънои Риман фаҳмида шавад, пас ба тадқиқи ин гуна муодилаҳо қорҳои илми камтар бахшида шудааст.

Аз олимони хориҷӣ, ки дар ин самт баъзе натиҷаҳои илмиро ба даст овардаанд танҳо олимони G.R. Bart, T. Sato, T. Takesada, Л.И. Панов, Н.А. Магницкий, В.С. Рогожин, С.Н. Расламбеков, Н.Н. Габбасов, Р.Р. Замалиевро ном гирифта мумкин аст.

Дар радиҳои қорҳои илмии олимони номбаршуда, натиҷаҳои илмии олимони ватани дар ин самт мавқеи хело муҳимро ишғол намудааст. Махсусан натиҷаҳои илми, ки дар даҳсолаҳои охир дар мактаби илмии академик Н. Раҷабов ба даст оварда шудааст, натиҷаҳои хело ҷадид буда, як самти илмии навро дар ин ҷодда муаррифи менамояд.

Ин самти нави илмӣ оғози худро аз тадқиқи муодилаи интегралӣ намуди Волтерра бо ядрои сингулярӣ

$$\varphi(x) + \int_a^x \frac{k(x,t)}{t-a} \varphi(t) dt = f(x) \quad (4)$$

гирифтааст. Ба тадқиқи пурраи муодилаи (4) монографияи илмии Н.Раҷабов [8] бахшида шудааст. Дар монографияи номбарда муодилаи интегралӣ умумитар бо ядрои барзиёд сингулярӣ зерин

$$\varphi(x) + \int_a^x \frac{k(x,t)}{(t-a)^x} \varphi(t) dt = f(x) \quad (5)$$

низ мавриди тадқиқоти васеъ қарор гирифтааст.

Дар қорҳои минбаъдаи Н.Раҷабов [9] – [12] муодилаҳои (4) ва (5) бо ядрои махсусияти логарифмидоштаи намуди

$$k(x,t) = A_0 + A_1 \ln \left(\frac{x-a}{t-a} \right) + \dots + A_n \ln^n \left(\frac{x-a}{t-a} \right) \quad (6)$$

ва ядрои махсусияти дараҷагидоштаи намуди

$$k(x,t) = A_0 + A_1 [\omega_\alpha(x) - \omega_\alpha(t)] + \dots + A_n [\omega_\alpha(x) - \omega_\alpha(t)]^n, \quad (7)$$

ки дар ин ҷо $\omega_\alpha(x) = \frac{1}{(\alpha-1)(x-a)^{\alpha-1}}$ аст, мавриди тадқиқоти васеъ қарор гирифтааст.

Ба тадқиқи муодилаи интегралӣ дученакаи намуди Волтерра

$$U(x,y) + \lambda \int_a^x \frac{U(x,t)}{(t-a)^\alpha} dt + \mu \int_b^y \frac{U(x,s)}{(b-s)^\beta} ds + \delta \int_a^x \frac{dt}{(t-a)^\alpha} \int_b^y \frac{U(t,s)}{(b-s)^\beta} ds = f(x,y) \quad (8)$$

ва ҳолатҳои умумитари он қорҳои илмии Л.Н.Раҷабова [13], [14] ва шогирдонаш бахшида шудааст.

Маълумоти муфассалро оид ба тадқиқи муодилаи (8) аз монографияи [15] дастрас намудан мумин аст. Методикаи илми дар корҳои [8] – [15] истифодашуда, аз тарафи муаллифи якуми мақола хангоми тадқиқ намудани муодилаҳои интегро-дифференсиалӣ бо ядроҳои махсусияти гуногундошта, васеъ истифода бурда шудааст. Натиҷаҳои илми дар ин самт ба даст овардашуда дар корҳои [16] – [28] ба ҷо расонида шудааст.

Дар муқоиса бо ин корҳо дар поён чунин муодилаи интегро – дифференсиалиеро мавриди тадқиқот қарор медиҳем, ки ядрои он се нуқтаи махсусро дар бар мегирад.

Гузориши масъала ва тадқиқи он: Бигузур дар тири ҳақиқӣ нуқтаҳои a_1, a_2, a_3 бо тартиби афзуншавӣ ҷойгир шуда бошанд. Бо x_0 ягон нуқтаи қайдшударо аз интервали a_1, a_2 ишорат мекунем. Он гоҳ бо Γ ва $\tilde{\Gamma}$ мувофиқан фосилаҳои зеринро ишорат менамоем: $\Gamma = \{x: a_1 < x \leq x_0\}$ ва $\tilde{\Gamma} = \{x: x_0 \leq x < a_2 < a_3\}$. Дар оянда фосилаҳои Γ ва $\tilde{\Gamma}$ -ро фосилаҳои байни ҳам ҳамроҳшуда менамоем. Инчунин, ишораи зеринро дохил менамоем:

$$D_x^{a_1 a_2 a_3} = (x - a_1)(a_2 - x)(a_3 - x) \frac{d}{dx}$$

ва онро оператори дифференсиалии сенуқтагӣ менамоем. Маълум аст, ки барои ин оператор нуқтаҳои a_1, a_2, a_3 нуқтаҳои махсус мебошанд.

Акнун дар Γ муодилаи интегро-дифференсиалии намуди Волтерра бо се нуқтаи сингулярии зеринро дида мебароем:

$$D_x^{a_1 a_2 a_3} y + A_0(x)y + \int_{a_1}^x \frac{k(x,t)}{(t - a_1)(a_2 - t)(a_3 - t)} y(t) dt = f(x), \quad (9)$$

ки дар ин ҷо $A_0(x)$, $f(x)$ – функсияҳои додашудаи бифосила дар $\bar{\Gamma} = \Gamma \cup \{a_1\}$, $k(x,t)$ – функсияи додашудаи бифосила дар росткунҷаи $\bar{R} = \{(x,t): a_1 \leq x \leq x_0, a_1 \leq t \leq x_0\}$ буда, ядрои муодила мебошад ва $y(x)$ – функсияи номаълум мебошад.

Дар назари аввал аз (9) бо осонӣ дида мешавад, ки агар ишораи $\frac{k(x,t)}{(a_2 - t)(a_3 - t)} = k_1(x,t)$ истифода бурда шавад, пас муодилаи (9) ба муодилаи интегро-дифференсиалӣ бо як нуқтаи махсус оварда мешавад, ки дар корҳои муаллифи якуми мақола пештар омӯхта шуда буданд. Вале дар асл ин тавр нест, тадқиқотҳои минбаъда нишон медиҳанд, ки тадқиқ намудани ин гуна муодилаҳо дар шакли (9) зарур буда, вобаста аз интихоби нуқтаи x_0 дар Γ ва $\tilde{\Gamma}$ - барои муодилаи (9) ва муодилаи ба он ҳамроҳшуда, натиҷаҳои нав ба нав ба даст оварда мешавад.

Барои муодилаи (9)-ро тадқиқ намудан, пеш аз ҳама муодилаи интегро-дифференсиалии моделии ба (9) мувофиқояндаи зеринро дида мебароем:

$$D_x^{a_1 a_2 a_3} y + A_0 y + \int_{a_1}^x \frac{k}{(t - a_1)(a_2 - t)(a_3 - t)} y(t) dt = f(x), \quad (10)$$

и дар ин ҷо $A_0 = \text{const}$, $k = \text{const}$ мебошанд. Маълум аст, ки ба муодилаи ғайриҷинсаи (10) муодилаи якҷинсаи зерин мувофиқ меояд:

$$D_x^{a_1 a_2 a_3} y + A_0 y + \int_{a_1}^x \frac{k}{(t - a_1)(a_2 - t)(a_3 - t)} y(t) dt = 0. \quad (11)$$

Азбаски ядрои муодилаи (10) дар нуктаи $t = a_1$ махсусияти дараҷаи якро дорад, бинобар ин ҳалли муодилаи (10)-ро дар синфи чунин функсияҳое ҷустуҷӯ менамоем, ки дар нуктаи $x = a_1$ ба сифр мубаддал гашта, рафторашон аз рӯи формулаи ассимптотикии зерин муайян карда мешаванд:

$$y(x) = o[(x - a_1)^\delta], \delta > \varepsilon, \text{ ӢАНГОМИ } x \rightarrow a_1. \quad (12)$$

Акнун барои муодилаи (10)-ро ҳал намудан ба ду тарафи он оператори дифференсиалии $D_x^{a_1 a_2 a_3}$ -ро барои дигар татбиқ намуда, ба ҳалли муодилаи зерин меоем:

$$(D_x^{a_1 a_2 a_3})^2 y + A_0 D_x^{a_1 a_2 a_3} y + ky = D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x). \quad (13)$$

Ҳамин тавр, масъалаи ҳал намудани муодилаи интегро-дифференсиалии (10) ба масъалаи ҳал намудани муодилаи интегро-дифференсиалии (13) оварда шуд.

Маълум аст, ки ба муодилаи (13) муодилаи операторӣ – дифференсионалии якҷинсаи

$$(D_x^{a_1 a_2 a_3})^2 y + A_0 D_x^{a_1 a_2 a_3} y + ky = 0 \quad (14)$$

мувофиқ меояд.

Функсияи зеринро дохил менамоем

$$y(x) = (x - a_1)^{\frac{\lambda}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda}{(a_2 - a_4)(a_2 - a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)}}. \quad (15)$$

Барои ин функсия дурустии баробарии зеринро бо осонӣ исбот намудан мумкин аст.

$$\begin{aligned} D_x^{a_1 a_2 a_3} y &= D_x^{a_1 a_2 a_3} (x - a_1)^{\frac{\lambda}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda}{(a_2 - a_4)(a_2 - a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)}} \\ &= \\ &= \lambda (x - a_1)^{\frac{\lambda}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda}{(a_2 - a_4)(a_2 - a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)}} = \lambda y. \end{aligned}$$

Аз ин ҷо, агар ҳалли муодилаи (14)-ро дар намуди (15) ҷустуҷӯ намоем, пас бо назардошти баробарии охирон, барои муайян намудани λ муодилаи алгебравии

$$\lambda^2 + A_0 \lambda + k = 0 \quad (16)$$

ро ҳосил мекунем. Муодилаи (16)-ро дар оянда муодилаи характеристикӣ барои муодилаи (14) меномем.

Акнун вобаста аз решаҳои муодилаи характеристикӣ (16) ҳалли муодилаи операторӣ-дифференсиалии (14)-ро дар се ҳолати зерин ҳосил мекунем:

1. Бигузур решаҳои муодилаи характеристикӣ (16) ҳақиқӣ ва гуногун бошанд, ки онҳоро бо λ_1, λ_2 ишорат мекунем. Он гоҳ функсияҳои намуди

$$y_1 = (x - a_1)^{\frac{\lambda_1}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2 - a_4)(a_2 - a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)}},$$

$$y_2 = (x - a_1)^{\frac{\lambda_2}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2 - a_4)(a_2 - a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)}}.$$

ҳалҳои хусусии муодилаи якҷинсаи (14)-ро ташкил медиҳанд. Ҳалли умумии муодилаи (14) бошад намуди зеринро мегирад:

$$y_{00}^1 = c_1 (x - a_1)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} + \\ + c_2 (x - a_1)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} (a_2 - x)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} (a_3 - x)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}}, \quad (17)$$

Акнун барои ёфтани як ҳалли хусусии муодилаи (13) аз методи интегралӣ, ки дар корҳои [24] – [28] истифода шуда буд, истифода мебарем. Яъне ҳалли хусусии муодилаи ғайриякҷинсаи (13)-ро дар намуди зерин мекобем:

$$y_{\text{ЧН}}^1 = \int_{a_1}^x \left[N_1^1 \left(\frac{x - a_1}{t - a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2 - x}{a_2 - t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3 - x}{a_3 - t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\ \left. + N_2^1 \left(\frac{x - a_1}{t - a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2 - x}{a_2 - t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3 - x}{a_3 - t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t - a_1)(a_2 - t)(a_3 - t)} \quad (18)$$

ки дар ин ҷо N_1, N_2 коэффисиентҳои номаълум мебошанд. Барои ёфтани ин коэффисиентҳо оператори $D_x^{a_1 a_2 a_3}$ -ро ба функсияи (18) татбиқ менамоем:

$$D_x^{a_1 a_2 a_3} y_{\text{ЧН}}^1 \\ = \int_{a_1}^x \left[N_1^1 \lambda_1 \left(\frac{x - a_1}{t - a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2 - x}{a_2 - t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3 - x}{a_3 - t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} + \right. \\ \left. + N_2^1 \lambda_2 \left(\frac{x - a_1}{t - a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2 - x}{a_2 - t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3 - x}{a_3 - t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t - a_1)(a_2 - t)(a_3 - t)} + \\ + (N_1^1 + N_2^1) D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x).$$

Коэффисиентҳои номаълуми N_1^1, N_2^1 -ро чунон интиҳоб менамоем, ки шарти

$$N_1^1 + N_2^1 = 0 \quad (19)$$

иҷро гардад.

Барои ёфтани шарти дуюм нисбат ба коэффисиентҳои N_1^1, N_2^1 , оператори $D_x^{a_1 a_2 a_3}$ -ро бори дуюм ба функсияи (18) татбиқ намуда, натиҷаҳои ҳосилшударо ба муодилаи ғайриякҷинсаи (13) мегузорем:

$$(D_x^{a_1 a_2 a_3})^2 y_{\text{ЧН}}^1 \\ = \int_{a_1}^x \left[N_1^1 \lambda_1^2 \left(\frac{x - a_1}{t - a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2 - x}{a_2 - t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3 - x}{a_3 - t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\ \left. + N_2^1 \lambda_2^2 \left(\frac{x - a_1}{t - a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2 - x}{a_2 - t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_4)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3 - x}{a_3 - t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t - a_1)(a_2 - t)(a_3 - t)} + \\ + (N_1^1 \lambda_1 + N_2^1 \lambda_2) D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x).$$

Ин қиматҳои ёфташудаи $D_x^{a_1 a_2 a_3} y_{\text{ЧН}}^1, (D_x^{a_1 a_2 a_3})^2 y_{\text{ЧН}}^1$ ва қимати худӣ функсияи $y_{\text{ЧН}}^1$ – ро ба муодилаи (13) гузошта ҳосил мекунем

$$\begin{aligned}
& \int_{a_1}^x \left[N_1^1 \lambda_1^2 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\
& \quad + \\
& \quad \left. + N_2^1 \lambda_2^2 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)} + \\
& \quad + \int_{a_1}^x \left[A_0 N_1^1 \lambda_1 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\
& \quad \left. + A_0 N_2^1 \lambda_2 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)} + \\
& \quad + \\
& \quad + \int_{a_1}^x \left[k N_1^1 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\
& \quad \left. + k N_2^1 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)} + \\
& \quad + (N_1^1 \lambda_1 + N_2^1 \lambda_2) D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x) = D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x).
\end{aligned}$$

Ифодаи ҳосилшударо сода мегардонем:

$$\begin{aligned}
& \int_{a_1}^x \left[N_1^1 (\lambda_1^2 + A_0 \lambda_1 + k) \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\
& \quad + N_2^1 (\lambda_2^2 + A_0 \lambda_1 + k) \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(x) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)} + \\
& \quad + (N_1^1 \lambda_1 + N_2^1 \lambda_2) D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x) = D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x).
\end{aligned}$$

Азбаски ифодаҳои зерин интегралӣ ба сифр баробар аст, пас

$$(N_1^1 \lambda_1 + N_2^1 \lambda_2) D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x) = D_x^{a_1 a_2 a_3} f(x).$$

Аз ин ҷо функсияи намуди (18) ҳалли муодилаи (13) мешавад, агар шарт

$$N_1^1 \lambda_1 + N_2^1 \lambda_2 = 1 \quad (20)$$

ичро гардад.

Ҳамин тавр, барои ёфтани коэффисиентҳои номаълуми N_1^1, N_2^1 системаи муодилаҳои алгебравии зеринро ҳосил намудем:

$$\begin{cases} N_1^1 + N_2^1 = 0 \\ N_1^1 \lambda_1 + N_2^1 \lambda_2 = 1 \end{cases} \quad (21)$$

Системаи (21)-ро бо яке аз қоидаҳои ба мо маълум ҳал намуда, меёбем:

$$N_1^1 = -\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad N_2^1 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

Ин қиматҳои N_1^1, N_2^1 -ро ба (18) гузошта, ҳалли хусусии муодилаи ғайриякҷинсаи (13)-ро дар намуди зерин ҳосил мекунем:

$$y_{\text{чк}}^1 = -\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{a_1}^x \left[\left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\ \left. - \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{D_t^{a_1 a_2 a_3} f(t) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)} \quad (22)$$

Дар интегралҳои тарафи рости (22) як маротиба қисм ба қисм интегронида, ҳалро ба воситаи ҳуди функсияи $f(x)$ ифода менамоем:

$$y_{\text{чк}}^1 = -\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{a_1}^x \left[\lambda_1 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\ \left. - \lambda_2 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{f(t) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)}. \quad (23)$$

Дар ин ҷо иҷрошавии шартҳои зерин талаб карда шуд:

$$-\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\ \left. - \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] f(x)|_{t=a_1} = 0. \quad (24)$$

Акнун ба ҳалли хусусии (23) ҳалли умумии муодилаи якҷинсаи (14)-ро, ки намуди (17)-ро дорад ҳамчун намуда, ҳалли умумии муодилаи ғайриҷинсаи (13)-ро дар намуди зерин ҳосил мекунем:

$$y_{\text{он}} = c_1 (x-a_1)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} (a_2-x)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} (a_3-x)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} + \\ + c_2 (x-a_1)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} (a_2-x)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} (a_3-x)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} - \\ - \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{a_1}^x \left[\lambda_1 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_1}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_1}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right. \\ \left. - \lambda_2 \left(\frac{x-a_1}{t-a_1} \right)^{\frac{\lambda_2}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \left(\frac{a_2-x}{a_2-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_2-a_1)(a_2-a_3)}} \left(\frac{a_3-x}{a_3-t} \right)^{\frac{-\lambda_2}{(a_3-a_1)(a_3-a_2)}} \right] \frac{f(t) dt}{(t-a_1)(a_2-t)(a_3-t)} \\ \equiv E_1^+ [c_1, c_2, f(x)]. \quad (25)$$

Бигузур решаҳои муодилаи харақистикӣ (16) нобаробарии

$$0 < \lambda_1 < \lambda_2 \quad (26)$$

ро қаноат намоянд. Он гоҳ барои наздикшаванда будани интегралҳои тарафи рости (25) талаб менамоем, ки функсияи $f(x)$ дар нуқтаи $x = a_1$ ба сифр мубаддал гашта, рафтараши аз рӯи формулаи ассимптотикӣ зерин муайян карда шавад

$$f(x) = 0 \left[(x-a_1)^{\frac{\delta}{(a_1-a_2)(a_1-a_3)}} \right], \delta > \lambda_2, \text{ Ҳангоми } x = a_1. \quad (27)$$

Бо иҷро шудани шартҳои (27) интегралҳои тарафи рости (25) наздикшаванда мешавад ва ҳалли умумии муодилаи операторӣ – дифференсиалии (13) намуди (25)-ро мегирад.

Акнун ба муодилаи интегро-дифференсиалии (10) баргашта, ҳалли умумии онро бояд барқарор намоем. Барои ин пеш аз ҳама қайд менамоем, ки агар ҳалли муодилаи якҷинсаи (11)-ро дар намуди (15) ҷустуҷӯ намоем, пас барои муайян намудан параметри λ муодилаи хараактеристикии

$$\lambda + A_0 + \frac{k}{\lambda} = 0, \quad (\lambda > 0)$$

ро ҳосил менамоем, ки он бо осонӣ ба намуди муодилаи хараактеристикии (16) оварда мешавад ва танҳо бо изофаи шарт $\lambda > 0$. Аз ин ҷо ба хулосае меоем, ки ҳалҳои хусусии муодилаи якҷинсаи операторӣ-дифференсиалии (14) танҳо дар он ҳолат ҳалҳои муодилаи якҷинсаи интегро-дифференсиалии (11) шуда метавонанд, агар шарт (26) иҷро шавад.

Дар ҳолати иҷро шудани шарт

$$\lambda_1 < 0 < \lambda_2 \quad (28)$$

ҳалли хусусии y_1 барои муодилаи якҷинсаи (11) ҳалли бегона мебошад ва бинобар ин онро партофта лозим меояд. Дар ин маврид ҳалли умумии муодилаи гайриякҷинсаи (10) намуди зеринро мегирад.

$$y_{\text{он}}^1 = E_1^+[0, c_2, f(x)]. \quad (29)$$

Ҳангоми иҷро шудани шарт

$$\lambda_1 < \lambda_2 < 0 \quad (30)$$

ҳарду ҳалҳои хусусии y_1 ва y_2 муодилаи якҷинсаи (11)-ро қаноат наменамоянд ва бинобар ин онҳоро партофта, ҳалли ягонаи муодилаи гайриякҷинсаи (10)-ро дар намуди зерин ҳосил мекунем

$$y = E_1^+[0, 0, f(x)]. \quad (31)$$

Ҳамин тавр, теоремаи зерин исбот карда шуд.

Теорема. *Бигузур дар муодилаи интегро-дифференсиалии (10) коэффисиентҳои A_0 ва k чунон бошанд, ки муодилаи хараактеристикии (16) дорои решаҳои ҳақиқӣ ва гуногуни λ_1, λ_2 бошад. Инчунин, бигузур дар ҳолати иҷро шудани шартҳои (26) ва (28) функцияи $f(x)$ дар нуқтаи $x = a_1$ ба сифр мубаддал гашта, рафтораи аз r -и формулаи ассимптотикии (27) муайян карда шавад.*

Он гоҳ муодилаи интегро-дифференсиалии (10) ҳалшаванда мебошад ва ҳалли умумии он вобастаи аз иҷрошавии шартҳои (26), (28) ва (30) дар се ҳолат мувофиқан бо ёрии формулаҳои (25), (29) ва (31) ифода карда мешавад.

Қайд. Натиҷаҳои монанд барои муодилаи (10) дар ҳолати решаҳои муодилаи хараактеристикии (16) ҳақиқӣ ва якхела ва комплексӣ ҳамроҳшуда будан, ба даст оварда шудааст.

Хулоса. Тадқиқотҳои гузаронидашуда нишон медиҳад, ки муодилаи интегро-дифференсиалии (10) танҳо дар як ҳолат, ҳангоми иҷро шудани шарт (30) дорои ҳалли ягона буда, дар ду ҳолати боқимонда, яъне ҳангоми иҷро шудани шартҳои (26) ва (28), ҳалли умумии муодилаи (10) доимӣҳои ихтиёриро дар бар мегирад. Аз ин ҷо мебарояд, ки дар ҳолати яқум назарияи сохташуда барои муодилаи (10) ба назарияи классикии муодилаҳои интегро-дифференсиалии намуди Волтерра бо ядроҳои регуляри мувофиқат менамояд ва дар ду ҳолати дигар назарияи сохташуда аз ин сарҳад берун мебарояд.

АДАБИЁТ

1. Векуа, И.Н. Об интегро-дифференциальном уравнении Прандтля / И.Н. Векуа // Прикл. матем. и мех. – 1945. – Т.9. – №2. – С. 143-150.
2. Векуа, Н.П. Системы сингулярных интегральных уравнений / Н.П. Векуа. – М. 1970. – 397 с.
3. Магнарадзе, Л.Г. Об одном новом интегральном уравнении теории крыла самолёта / Л.Г. Магнарадзе // Сообщ. АН Груз. ССР. – 1942. – Т.3. – №6. – С. 53-508.
4. Магнарадзе, Л.Г. Теория одного класса линейных сингулярных интегро – дифференциальных уравнений и ее применения к задаче колебания крыла аэроплана конечного размаха, удара о поверхность воды и аналогичным / Л.Г. Магнарадзе // Сообщ. АН Груз. ССР. – 1943. – Т.4. – №2. – С. 108-110.
5. Сидоров, Н.А. Об одном классе уравнений Вольтерра с вырождением в банаховых пространствах / Н.А.Сидоров // Сиб. мат. журн. – 1983. – Т.21. – №2. – С. 202-203.
6. Фалалеев, М.В. Задача Коши для вырожденных интегро – дифференциальных уравнений в банаховых пространствах / М.В. Фалалеев // Вестн. ЧГУ. Математика. Механика. Информатика. – 1999. – Сер.3. – №2. – С. 126-136.
7. Орлов, С.С. Обобщенные решения интегро-дифференциальных уравнений высоких порядков в банаховых пространствах / С.С. Орлов. – Иркутск, 2014. – 149 с.
8. Раджабов, Н. Интегральные уравнения типа Вольтера с фиксированными граничными и внутренними сингулярными ядрами и их приложения / Н.Раджабов. – Душанбе, 2007. – 222 с.
9. Rajabov, N. Integral representation of the manifold solution for new class of the Volterra type integral equation with a boundary singularity in kernels for odd power / N. Rajabov // 10th International ISAAC Congress. University of Macau. – 2015. – Pp. 56-57.
10. Rajabov, N. Integral Representation of the Manifold Solution for New Class of the Volterra Type Integral Equation with a Boundary Singularity in the Case, When Kernels Contain Logarithmic Singularity and its Power / N. Rajabov // Journal of Mathematics and System Science. – 2016. – No. 6. – Pp. 23-37.
11. Rajabov, N. Volterra type integral equation with super- singular kernels / N. Rajabov // Functional analysis in interdisciplinary applications. Kazakhstan. – 2017. – Vol. 216. – Pp. 333-340.
12. Rajabov, N. Volterra type integral equation with super singular kernels / N. Rajabov // Abstracts of VI Congress of the Turkic World Mathematical Society. – Astana, 2017. – No. 6. – Pp. 220.
13. Раджабова, Л.Н. К теории одного класса двумерных интегральных уравнений Вольтерра с внутренними особыми линиями / Л.Н.Раджабова // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2010. – №3(59). – С. 48-53.
14. Раджабова, Л.Н. О некоторых случаях немодельных двумерных интегральных уравнений типа Вольтерра с особой и слабо-особой линией на полосе / Л.Н. Раджабова., М.Б. Хушвахтов // Доклады АН РТ. – 2019. – Т. 62. – № 9-10. – С. 533-540.
15. Раджабов, Н. Введение в теорию многомерных интегральных уравнений типа Вольтера с фиксированными сингулярными и сверх-сингулярными ядрами и их приложения / Н.Раджабов, Л.Н. Раджабова. – Germany: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2012. – 502 с.
16. Зарипов, С.К. К теории одного класса немодельного линейного обыкновенного дифференциального уравнения третьего порядка с двумя граничными сингулярными точками / Н. Раджабов, С.К. Зарипов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2009. – № 1. – С. 7-17.
17. Зарипов, С.К. Об одном классе модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка со сверхсингулярной точкой в ядре / С.К. Зарипов // Вестник таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1-6. – С. 6-12.
18. Зарипов, С.К. Об одном классе модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка с логарифмической особенностью в ядре / С.К. Зарипов // Вестник таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1-6. – С. 33.
19. Зарипов, С.К. Об одном классе модельного интегро-дифференциального уравнения первого порядка с одной сингулярной точкой в ядре / С.К. Зарипов // Вестник таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1-3. – С. 27-32.
20. Зарипов, С.К. Об одной новой методике решения одного класса модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка с сингулярным ядром / С.К. Зарипов // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 68-75.
21. Зарипов, С.К. Решения одного класса модельных интегро-дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка с сингулярным ядром / С.К. Зарипов, Н. Раджабов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2017. – Т. 60. – № 3-4. – С. 118-125.
22. Зарипов, С.К. Решения одного класса модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка с сингулярным ядром / С.К. Зарипов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2017. – № 1-1. – С. 34-37.

23. Зарифзода, С.К. Исследование некоторых классов интегро-дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка со степенно-логарифмической особенностью в ядре / С.К. Зарифзода, Р.Н. Одинаев // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2020. – № 67. – С. 40-54.
24. Зарифзода, С.К. Тадқиқи як синфи муодилаҳои интегро-дифференциалӣ ба нуқтаи рости барзиёдсингулярӣ / С.К. Зарифзода, Ҷ. Искандари // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2021. – № 1. – С. 5-19.
25. Зарифзода, С.К. Получение явных решений дифференциального уравнения римана второго порядка с тремя особыми точками / С.К. Зарифзода // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. – № 3. – С. 116-131.
26. Yuldashev, T.K. Mellin transform and integro-differential equations with logarithmic singularity in the kernel / T.K. Yuldashev, S.K. Zarifzoda // Lobachevskii journal of mathematics. – 2020. – Vol. 41. No. 9. – Pp. 1910-1917.
27. Yuldashev, T.K. On a new class of singular integro-differential equations / Yuldashev, S.K. Zarifzoda // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. – 2021. – No. 1(101). – Pp. 138-148.
28. Yuldashev, T.K. on exact solutions of a class of singular partial integro-differential equations / T.K. Yuldashev, R.N. Odinaev, S.K. Zarifzoda / Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2021. – Vol. 42. – No. 3. – Pp. 676-684.

REFERENCES

1. Vekua, I.N. On the integro-differential equation of Prandtl / I.N. Vekua // Prikl. mat. and fur. - 1945, - Vol. 9. – No. 2. – Pp. 143-150.
2. Vekua, N.P. Systems of singular integral equations / N.P. Vekua. – M., 1970. – 397 p.
3. Magnaradze, L.G. On one new integral equation of the theory of an aircraft wing / L.G. Magnaradze // Soobshch. of AN Gruz SSR. – 1942. – Vol. 3. – No. 6. – Pp.53-508.
4. Magnaradze, L.G. The theory of one class of linear singular integro-differential equations and its application to the problem of oscillations of the wing of an airplane of finite span, impact on the surface of the water and similar / L.G. Magnaradze // Soobshch. of AN Gruz SSR. – 1943. – Vol. 4. – No. 2. – Pp. 108-110.
5. Sidorov, N.A. On one class of the Volterra equation with degeneracy in Banach spaces / N.A. Sidorov // Sib. Mat. Journal. – 1983. – Vol. 21. – No. 2. – Pp. 202-203.
6. Falaleev, M.V. The Cauchy problem for degenerate integro-differential equations in Banach spaces / M.V. Falallev // Vestn. ChGU. Ser.3, Math. Mechanics. Computer science. - 1999. - No. 2. - Pp. 126-136.
7. Orlov, S.S. Generalized solutions of integro-differential equations of high orders in Banach spaces / S.S. Orlov. – Irkutsk, 2014. – 149 p.
8. Rajabov, N. Integral equations of the Voltaire type with fixed boundary and internal singular kernels and their applications / N. Rajabov. – Dushanbe, 2007. – 222 p.
9. Rajabov, N. Integral representation of the manifold solution for new class of the Volterra type integral equation with a boundary singularity in kernels for odd power / N. Rajabov // 10th International ISAAC Congress. University of Macau. – 2015. – Pp. 56-57.
10. Rajabov, N. Integral Representation of the Manifold Solution for New Class of the Volterra Type Integral Equation with a Boundary Singularity in the Case, When Kernels Contain Logarithmic Singularity and its Power / N. Rajabov // Journal of Mathematics and System Science. – 2016. – No. 6. – Pp. 23-37.
11. Rajabov, N. Volterra type integral equation with super- singular kernels / N. Rajabov // Functional analysis in interdisciplinary applications. Kazakhstan. – 2017. – Vol. 216. – Pp. 333-340.
12. Rajabov, N. Volterra type integral equation with super singular kernels / N. Rajabov // Abstracts of VI Congress of the Turkic World Mathematical Society. – Astana, 2017. – No. 6. – Pp. 220.
13. Rajabova, L.N. On the theory of one class of two-dimensional Volterra integral equations with internal singular lines / LN Rajabova // Bulletin of TNU. Natural Sciences Series. - 2010. - No. 3 (59). - Pp. 48-53.
14. Rajabova, L.N. On some cases of non-model two-dimensional integral equations of the Volterra type with singular and weakly singular lines on the strip / L.N. Rajabova., M.B. Khushvakhtov // - Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. - 2019. - Vol. 62. - No. 9-10. - Pp. 533-540.
15. Rajabov, N. Introduction to the theory of multidimensional integral equations of the Voltaire type with fixed singular and super-singular kernels and their applications / N. Rajabov, L.N. Radjabov. – Germany: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2012. – 502 p.
16. Zaripov, S.K. On the theory of one class of a non-model linear ordinary differential equation of the third order with two boundary singular points / N. Rajabov, S.K. Zaripov // Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of physical and mathematical, chemical, geological and technical sciences. – 2009. – No. 1. – Pp. 7-17.
17. Zaripov, S.K. On one class of model first-order integro-differential equations with a supersingular point in the nucleus / S.K. Zaripov / Bulletin of the Tajik National University. – 2015. – No. 1-6. – Pp. 6.

18. Zaripov, S.K. On one class of model integro-differential equations of the first order with a logarithmic singularity in the kernel / S.K. Zaripov // Bulletin of the Tajik National University. – 2015. – No. 1-6. – Pp. 33.
19. Zaripov, S.K. On one class of a model first-order integro-differential equation with one singular point in the nucleus / S.K. Zaripov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural science. – 2015. – No. 1-3. – Pp. 27-32.
20. Zaripov, S.K. On one new method for solving one class of first-order model integro-differential equations with a singular kernel / S.K. Zaripov // Mathematical physics and computer modeling. – 2017. – Vol. 20. – No. 4. – Pp. 68-75.
21. Zaripov, S.K. Solutions of a class of model integro-differential equations in partial derivatives of the first order with a singular kernel / S.K. Zaripov, N. Radjabov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2017. – Vol. 60. – No. 3-4. – Pp. 118-125.
22. Zaripov, S.K. Solutions of a class of model integro-differential equations of the first order with a singular kernel / S.K. Zaripov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2017. – No. 1-1. – Pp. 34-37.
23. Zarifzoda, S.K. Investigation of some classes of integro-differential equations in partial derivatives of the second order with a power-logarithmic singularity in the kernel / S.K. Zarifzoda, R.N. Odinaev // Bulletin of the Tomsk State University. Mathematics and mechanics. – 2020. – No. 67. – Pp. 40-54.
24. Zarifzoda, S.K. Zarifzoda, S.K. Study of a class of integro-differential equations to the right point beyond the singularity / S.K. Zarifzoda, J. Iskandari // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2021. – No. 1. – Pp. 5-19.
25. Zarifzoda, S.K. Obtaining explicit solutions to a second-order Riemannian differential equation with three singular points / S.K. Zarifzoda // Bulletin of the Tajik National University. – 2021. – No. 3. – Pp. 116-131.
26. Yuldashev, T.K. Mellin transform and integro-differential equations with logarithmic singularity in the kernel / T.K. Yuldashev, S.K. Zarifzoda // Lobachevskii journal of mathematics. – 2020. – Vol. 41. – No. 9. – Pp. 1910-1917.
27. Yuldashev, T.K. On a new class of singular integro-differential equations / Yuldashev, S.K. Zarifzoda // Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. – 2021. – No. 1(101). – Pp. 138-148.
28. Yuldashev, T.K. On exact solutions of a class of singular partial integro-differential equations / T.K. Yuldashev, R.N. Odinaev, S.K. Zarifzoda // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2021. – Vol. 42. – No. 3. – Pp. 676-684.

ТАДҚИҚИ МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРТИБИ ЯКУМИ МОДЕЛӢ БО СЕ НУҚТАИ МАХСУС

Дар ин мақола як синфи муодилаҳои интегро-дифференсиалии тартиби якуми намуди Вольтерра бо ядрои дорои се нуқтаи махсус буда, мавриди тадқиқот қарор гирифтааст. Дар аввал масъалаи ҳал намудани муодилаи интегро-дифференсиалии тадқиқшаванда ба масъалаи ҳал намудани муодилаи операторӣ-дифференсиалии тартиби дуум оварда мешавад. Баъдан муодилаи операторӣ-дифференсиалии ҳосил шуда дар як ҳолат вобаста аз решаҳои муодилаи характеристикӣ мувофиқоянда, мавриди тадқиқот қарор гирифтааст. Дар ҳолати решаҳои муодилаи характеристикӣ ҳақиқӣ ва гуногун будан, ҳалли умумии муодилаи операторӣ-дифференсиалӣ бо ёрии ду доимии ихтиёрӣ ифода карда шудааст. Минбаъд вобаста аз иҷрошавии шартҳои $0 < \lambda_1 < \lambda_2$, $\lambda_1 < 0 < \lambda_2$, $\lambda_1 < \lambda_2 < 0$ аз ҳалҳои ёфташудаи муодилаи операторӣ-дифференсиалӣ ҳалли муодилаи интегро-дифференсиалии тадқиқшаванда, ёфта мешавад.

Калидвожаҳо: муодилаи интегро-дифференсиалӣ, муодилаи операторӣ-дифференсиалӣ, муодилаи характеристикӣ, ядрои сингулярӣ, оператори дифференсиалии сенуктагӣ, нуқтаҳои махсус, ҳалли умумӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЬНОГО ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ТРЕМЯ ОСОБЫМИ ТОЧКАМИ

В статье исследуется одного класса интегро-дифференциального уравнения первого порядка типа Вольтерра с ядром имеющий тремя особыми точками. Вначале задача исследования интегро-дифференциального уравнения приводится к задаче о нахождение решения соответствующего операторно-дифференциального уравнения второго порядка. Затем полученное операторно-дифференциальное уравнение в одном случае в зависимости от корней соответствующего характеристического уравнения исследуется. В случае вещественно-разные корни характеристического уравнения, общее решение операторно-дифференциального уравнения находится через две произвольные константы. Далее, в зависимости от выполнении условия $0 < \lambda_1 < \lambda_2$, $\lambda_1 < 0 < \lambda_2$, $\lambda_1 < \lambda_2 < 0$ из найденного

решения операторно-дифференциального уравнения, восстанавливается общее решение исследуемого интегро-дифференциального уравнения.

Ключевые слова: интегро-дифференциальное уравнение, операторно-дифференциальное уравнение, характеристическое уравнение, сингулярной ядро, трёхточечный дифференциальный оператор, особые точки, общее решение.

INVESTIGATION OF THE MODEL FIRST ORDER INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION WITH THREE SINGULAR POINTS

The article investigates one class of the first-order Volterra type integro-differential equation with a kernel having three singular points. First, the problem of studying an integro-differential equation is reduced to the problem of finding a solution to the corresponding operator-differential equation of the second order. Then the obtained operator-differential equation in one case, in depending of the roots of the corresponding characteristic equation, is investigated. In the case of real and different roots of the characteristic equation, the general solution of the operator - differential equation is found through two arbitrary constants. Further, in depending of the fulfillment of the conditions $0 < \lambda_1 < \lambda_2$, $\lambda_1 < 0 < \lambda_2$, $\lambda_1 < \lambda_2 < 0$ from the found solution of the operator-differential equation, the general solution of the investigated integro-differential equation is restored.

Keywords: integro-differential equation, operator-differential equation, characteristic equation, singular kernel, three-point differential operator, singular points, general solution.

Маълумот дар бораи муаллифон: **Зарифзода Сарвар Қахрамон** – номзади илмҳои физикаю математика, дотсент, мудири кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 985-61-91-83. **E-mail:** sarvar8383@list.ru.

Розиков Муҳиддин Тоҷиддинович - докторанти Ph.D-и кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, Ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 930-01-03-83. **E-mail:** togiddinmuhiddin97@gmail.com.

Сведения об авторах: **Зарифзода Сарвар Карамон** – кандидат физико-математических наук, дотцент, заведующий кафедрой вычислительной математики и механики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 985-61-91-83. **E-mail:** sarvar8383@list.ru.

Розиков Муҳиддин Тоҷиддинович – докторант Ph.D кафедры вычислительной математики и механики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 930-01-03-83. **E-mail:** togiddinmuhiddin97@gmail.com.

Information about the authors: **Zarifzoda Sarvar Qahramon** – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, head of the department of computational mathematics and mechanics; Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 985-61-91-83. **E-mail:** sarvar8383@list.ru.

Rozikov Muhiddin Todjiddinovich – Ph.D student of Department of Computational Mathematics and Mechanics of the National University of Tajikistan. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 930-01-03-83. **E-mail:** togiddinmuhiddin97@gmail.com.

МОДЕЛСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ МАСЪАЛАИ БАҲОДИҲӢ ВА МУҲОФИЗАТИ НАМУДҲОИ МОҲИҲОИ НОДИР

Ниматова М.Ҳ.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муқаддима. Моҳипарварӣ яке аз муҳимтарин соҳаи хоҷагии халқ ба шумор рафта, афзунгардонӣ, муҳофизат ва фурӯши маҳсулоти моҳигиро дар бар мегирад. Моҳӣ бошад, яке аз манбаи асосии ғизои сафедадор барои инсон мебошад. Аз замонҳои қадим моҳиро аз обхавзаҳои гуногун, укёнусо, баҳрҳо, кӯлҳо ва дарёҳо шикор менамуданд. Зиеда аз 2000 сол пеш моҳиро дар кӯлҳои махсуссохташуда парвариш менамуданд. Дар ин муддат бо истифода аз технологияи гуногуни парвариши моҳӣҳо вобаста ба омилҳои мавҷуда ба нишондиҳандаҳои баланди ин намуди маҳсулот ба даст оварда шудааст. Бо пайдо шудани аквакултура, яъне бо таври сунӣ парвариш кардани моҳӣҳо, имкон фароҳам овард, то сарвати бебаҳои моҳӣҳо дар обҳои табиӣ кам нагарданд.

Аквакултура парвариши организмҳои обӣ буда, идоракунии равандҳои сунӣ, хӯронидан ва муҳофизати онҳо аз нестшавиро дар бар мегирад. Як қатор шаклҳои аквакултура дар баҳрҳо, кӯлҳои обишириндошта, бассейнҳо ва қафасҳои сохташуда моҳӣҳо, молюскаҳо, харчангшаклон, растаниҳои обӣ парвариш карда мешаванд. Аз рӯйи маҳсулнокии ин системаҳо ба навъҳои экстенсивӣ, ниминтенсивӣ ва интензивӣ тақсим карда мешаванд. Дар замони имрӯза саҳми аквакултура дар истеҳсоли ғизои сафедадор дар таъмини бехатарии озуқаворӣ хеле калон аст. Қайд кардан ба маврид аст, ки ташкили чунин системаҳо барои таъминоти аҳолии кураи замин бо сафеданоии пурқимати ивазнашаванда, кам гардонидани камбизоатӣ ва ташкил намудани ҷойҳои корӣ дар деҳотҳои дурдаст зарур мебошад.

Аз рӯйи омили **ҶАО**-и ташкилоти умумичаҳони Созмони Милали Муттаҳид дар соли 2004 дар миқёси ҷаҳон 160 млн. тонна моҳӣ истеҳсол карда шудааст, ки 20% миқдори умумии маҳсулоти сафедадори ҳайвонотро дар ратсион (вояи хӯрокаи)-и инсон ташкил медиҳад. Дар Тоҷикистон, ҳоло аквакултураи экстенсиви парвариши зағорамоҳӣҳо дар кӯлҳо мавҷуд аст. Онҳо дар минтақаҳои гуногуни ҷумҳури барои таъминоти маҳсулоти моҳӣ ба мардум баробар ҷойгир карда шудаанд. Аз руи рақамҳои мавҷуда бармеояд, ки масоҳати умумии кӯлҳо дар ҚТ қариб 4300 гектарро ташкил медиҳад. Хоҷагиҳои мазкур асосан солҳои 1960-1970 дар заминҳои ғайрикишоварзӣ, назди дарёҳо: шӯразамин, ботлоқзамин, санглоҳзамин ҷойгиранд, сохта шудаанд. Аз рӯйи ҳисобҳои мутахассисони хоҷагии кишлоқ дар мавриди пурра истифода бурдани захираҳои табиӣ ин заминҳо, ки аз уштурхорянтоқ, газтамарекс, қамиш ва ғайра иборат аст, дар давоми сол аз 2 то 3 кг., гӯшт истеҳсол кардан мумкин аст ҳалос. Аммо тибқи натиҷаҳои таҷрибаҳои илмӣ, фаъолияти истеҳсолии 60-сола нишон медиҳанд, ки ҳангоми дуруст ба роҳ мондани соҳаи моҳипарварӣ накам аз 25-30 сентнер аз як гектар моҳии молӣ истеҳсол кардан мумкин аст. Ҷамъбасти фаъолияти бисёрсолаи хоҷагиҳои моҳипарварии ҷумҳурӣ аз он гувоҳӣ медиҳад, ки кӯлҳоро аз рӯйи хусусиятҳои конкретӣ, шароити иқлимӣ ҳокӣ, речаи обӣ, ивазшавии об (филтрация), биофонди табиӣ, дараҷаи сабзиши растаниҳо (заростаемость), чуқурӣ, ҳосилнокии умумияшон ба 3 навъ тақсим мекунанд [17]:

1. Навъи камҳосил – аз ҷумлаи кӯлҳои мебошад, ки дар заминҳои санглоҳ, шӯр ва ботлоқзамин сохта шудаанд ва бо оби лойолуди дарёҳои кӯҳӣ пур карда мешаванд. Барои мисол ба ин навъи кӯлҳо ҳавзҳои моҳипарварии хоҷагии

давлатии «Чубек»-и ноҳияи Ҳамадонии вилояти Хатлон, хоҷагии саҳҳомии ш. Панҷакенти вилояти Суғдро дохил кардан мумкин аст. Ҳосили баландтарини онҳо, дар мавриди интенсивонӣ, ба 20-25 с/га мерасад.

2. Навъи миёнаҳосил – навъи кӯлҳое мебошад, ки аз сатҳи дарёҳо болотар ҷойгар буда, оби софи ба воситаи системаи ҷўйбору нахрҳо воридшуда ва системаи обсофкунияшон нисбатан шароити беҳтари иқлимию хокӣ дорад. Ба ин навъи кӯлҳо асосан ҳавзҳои моҳипарварии минтақаҳои «Вахш»-и ҶСШК-аи ноҳияи А. Ҷомӣ, қисман ҶСШК «Гули сурх»-и ноҳияи Ҷиликӯли вилояти Хатлон, минтақаи зотпарварии ҶСШК «Суғдмоҳӣ»-и ш. Қайроққумро мансуб доништан мумкин аст. Ҳосилнокии ин категорияи кӯлҳо аз 30 то 50 с/га-ро ташкил медиҳад.

3. Навъи серҳосил – ба ин навъи кӯлҳо асосан кӯлҳое дохил мешаванд, ки речаи оби идорашаванда дошта, ҳарорати устувори онҳо аз қаъри хоки гилу регӣ, чимзаминии бефилтратсия вобастаанд. Ба ин навъ кӯлҳо ҳавзҳои моҳипарварии минтақаҳои «Чапаев» ва «Крилов»-и ҶСШК ПМХ ноҳияи А. Ҷомӣ-ро ворид намудан мумкин аст.

Бо назардошти дар давраи гузариш қарор доштани соҳаи моҳипарварӣ ва бо мақсади расонидани кумаки илмӣ ба мутахассисони соҳаи мазкур ва баҳри зиёд намудани истехсоли моҳӣ, аз тарафи як қатор олимони ҷумҳурӣ аз қабили Юнусӣ М.Қ., Комилийн Ф.С., Мирзоев С.Ҳ., Қосимов И.Л., Саидзода И.М. ва Шамсов Ф. корҳои зиёди илмӣ-татқиқотӣ ба анҷом расонида шудаанд.

Гузориши масъала. Тадқиқи компютерии масъалаи муҳофизати популятсияи намуди моҳиҳои нодир вобаста аз вақт, хангоми тағйирёбии суръати воридшавии захираҳо аз манбаи берунаро дар системаи экологии сесатҳаи трофикии доштаро дида мебароем.

Моделҳои математикии сесатҳаи трофикии вобаста аз параметрҳои «Растаниҳои зеробӣ», «Моҳӣ» ва «Моҳии дарранда» иборат бударо дида мебароем:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q + F_0(N_0, N_1), \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 \cdot F_1(N_0, N_2), \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2 \cdot F_2(N_1, N_3), \\ \frac{dN_3}{dt} = N_3 \cdot F_3(N_2, \varepsilon N_3), \quad 0 < t \leq t_k \end{cases} \quad (1)$$

дар ин ҷо $N_0 = N_0(t)$ – биомассаи захираи манбаи беруна, $N_1 = N_1(t)$ – биомассаи растаниҳои зеробӣ, $N_2 = N_2(t)$ – биомассаи моҳӣ, $N_3 = N_3(t)$ – биомассаи моҳии дарранда ва $Q = Q(t)$ – суръати воридшавии биомассаи захираҳои манбаи беруна дар вақти t мебошад. Ба воситаи ε – худмахдудкунӣ, $\varepsilon > 0$ ва $F_i = F_i(\cdot)$ $i = \overline{1,3}$ – суръати нисбии сатҳи трофикии дараҷавии i – юмро ишора намуда, ҳосиятҳои зеринро соҳиб мегардем:

$$\frac{dF_i}{dN_i} \leq 0, \quad \frac{dF_i}{dN_j} = \begin{cases} \leq 0, & i < j, \\ = 0, & i = j, \\ \geq 0, & i > j, \quad i = \overline{0,3}; \quad j = \overline{0,3}, \end{cases} \quad (2)$$

Системаи (2) бошад, муносибати байни намудҳои биологиро ифода мекунад [1-16].

Барои системаи муодилаҳои дифференсиалии (1) шартҳои аввалаи зерин дода мешавад:

$$N_i|_{t=0} = N_i^0, \quad i = \overline{0,3}. \quad (3)$$

Дар модели муҳофизати намуди моҳиҳои нодир вобаста аз вақт ва синну сол ба ғайр аз шарт (3) боз шарт навбатии (4), яъне муодилаи таваллудёбӣ, илова мегардад [2-6]:

$$N_i|_{t=0} = \int_0^{t_k} B_i(N_i, t) dt, \quad i = \overline{2,3}, \quad 0 < t \leq t_k \quad (4)$$

Дар ин ҷо $B_i = B(N_i, t) \geq 0$, $i = \overline{2,3}$ функсияи таваллудёбии намуди моҳиҳои нодир мебошад.

Функсияҳои $F_i(\cdot)$, $i = \overline{0,3}$ дар системаи экологии (1) дар намуди зерин дода мешавад:

$$\begin{cases} F_0 = -\alpha_0 N_0 N_1, \\ F_1 = k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2 - m_1, \\ F_2 = k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3 - m_2, \\ F_3 = k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 - m_3, \end{cases} \quad (5)$$

дар ин ҷо α_i – сатҳҳои трофикӣ ($\alpha_i > 0$, $i = 0, 1, 2, 3$); k_i – коэффисиенти ҳисса ($k_i > 0$, $i = 0, 1, 2$;) ва m_i – коэффисиенти ғавти табиӣ намуди моҳиҳои нодир мебошад ($m_i > 0$, $i = 1, 2, 3$).

Системаи (1)-ро бо назардошти системаи (5) чунин менависем:

$$\begin{cases} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \frac{dN_1}{dt} = N_1 \cdot (k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2 - m_1), \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2 \cdot (k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3 - m_2), \\ \frac{dN_3}{dt} = N_3 \cdot (k_2 \alpha_2 N_2 - \varepsilon N_3 - m_3). \end{cases} \quad (6)$$

ва ҳалли аналитикии системаро вобаста аз вақт ҳисоб мекунем [1-16].

Дар асоси модели математикии масъалаи муҳофизати намуди моҳиҳои нодир (1) гузориши математикии намуди М.К. Юнусиро [2-6] васеътар мекунем.

Таърифи 1. Бузургии зеринро $N_i^\tau = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau N_i(\xi) d\xi$, $i = \overline{1,3}$, $0 < \xi \leq \tau$, $\tau > 0$

биомассаи миёнаи намудҳои биологии «Растаниҳои зеробӣ», «Моҳӣ» ва «Моҳии дарранда»-ро дар ҳолати вақти τ меномам.

Гузориши масъалаи ҳифзи намудҳои арзишманд барои экосистемаи моделӣ (1) дар ҳолати ғайрестатсионарӣ (давомдор) ба таври зерин дода шудааст. Бигзор $[N_i^{\min}, N_i^{\max}]$ фосилаи дилхоҳи тағйирёбии шумораи i -юми намуди популятсия ба экосистема (1) чунин бошад, ки

$$N_i^{\min} \leq N_i^\tau \leq N_i^{\max}, \quad \tau > 0 \quad (7)$$

дар он i ба назар гирифта шудааст, $i=1,2,3$. Масъалаи ҳифзи ин популятсияи «арзишманди» i -юм аз он иборат аст, ки фосилаи N_j^{\min} , N_j^{\max} -и тағйирёбии боқимондаи популятсияҳои ба экосистема дохилшуда (1)

$$N_j^{\min} \leq N_j^i \leq N_j^{\max}, \quad j=1, 2, 3; \quad j \neq i, \quad (8)$$

ки шарти (7) барои дилхоҳ $\tau > 0$ ба назар гирифта шавад. Дар аввал, масъалаи муҳофизати олами растаниҳоро дида мебароем. Масалан, $i=1, j=2, 3$, пас (7), (8) масъалаи ҳифзи биомассаи растаниҳо номида мешавад. Дар ин маврид, шарти $N_3^{\max} = \infty, N_1^{\max} = \infty, N_2^{\min} = 0$ -ро қабул кардан мумкин. Дар натиҷа ба ҷои масъалаи (7), (8) масъалаи N_2^{\max}, N_2^{\min} -ро меёбем, ки иҷрои нобаробариҳои $N_1^\tau \geq N_1^{\min}, N_2^\tau \leq N_2^{\max}, N_3^\tau \geq N_3^{\min}$ қаноат мекунад, ки дар он N_1^{\min} – дода шудааст ва ба фосилаи $\left[\bar{N}_1^{\min}, \bar{N}_1^{\max} \right], \bar{N}_1^{\min} \geq 0, \bar{N}_1^{\max} < \infty, N_2^{\max} < \infty, N_3^{\min} \geq 0$. тааллуқ дорад. Қайд кардан ба маврид аст, ки нуктаҳои критикӣ аз тарафи Юнусӣ М.Қ. [2-6] дар масъалаҳои ҳифзи растаниҳо (ҳосили нақшагӣ) ва нигоҳдории ҳайвоноти нодир дар намуди зарурӣ ва кифоягӣ асоснок карда шудаанд.

Теоремаи 1. Бигзор таъсири мутақобилаи намудҳои экосистема мувофиқи қонуни Волтерра ба амал ояд, яъне функцияҳои $F_1(\cdot)$ бо формулаҳои (5) ва $N_0(0) = Q / \alpha_0 N_1^{\min}, Q = const > 0$ муайян карда мешаванд [2-6].

Барои ҳамаи қиматҳои $\tau > 0$ формулаи

$$N_1^\tau \geq N_1^{\min}, \quad N_1^{\min} \in \left[\frac{m_2}{k_1 \alpha_1} + \frac{1}{\tau \alpha_1} \ln \frac{N_2(\tau)}{N_2(0)}, \frac{K_0 Q}{m_1 + \frac{\alpha_1}{\tau} \ln \frac{N_1(\tau)}{N_1(0)}} \right], \quad (9)$$

ҷой дошта бошад, зарур ва кифоя аст шарти

$$\begin{aligned} N_2^\tau \leq N_2^{\max}, N_2^{\max} &= \frac{K_0 Q}{\alpha_1 N_1^{\min}} - \frac{m_1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_1 \tau} \ln \frac{N_1(\tau)}{N_0(0)} \\ N_3^\tau \geq N_3^{\min}, N_3^{\min} &= \frac{K_1 \alpha_1}{\alpha_2 N_1^{\min}} - \frac{m_2}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_2 \tau} \ln \frac{N_2(\tau)}{N_2(0)} \end{aligned} \quad (10)$$

иҷро гардад, ки дар он $Q = const > 0$ мебошад.

Шарти зарурӣ. Бигзор шарти (9) ҷой дошта бошад. Дурустии нобаробарии (10) – ро исбот мекунем:

$$\dot{N}_0 = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \quad N_0(t) = N_0(0) \exp(-\alpha_0 \int_0^t N_1(\xi) d\xi) + Q$$

$$\int_0^t \exp(-\alpha_0 \int_\xi^t N_1(\xi) d\xi) d\xi \leq \left[\frac{N_0(0) - Q}{\alpha_0 N_1^{\min}} \right]$$

$$\frac{\exp(-\alpha_0 N_1^{\min} t) + Q}{\alpha_0 N_1^{\min}} = \frac{Q}{\alpha_0 N_1^{\min}}$$

$$\dot{N}_1 = N_1 (-m_1 + k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_2 N_2)$$

$$\frac{d \ln N_1}{dt} = -m_1 + k_0 \alpha_0 N_0(t) - \alpha_2 N_2, \quad \frac{N_2(t) \leq k_0 Q}{\alpha_1 N_1^{\min}} - \frac{m_1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_1} \frac{d}{dt} \ln N_1(t).$$

Ҳамин тариқ, пас аз интеграл гирифтани нисбат ба t аз 0 то τ' , нобаробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{N_2^\tau \leq k_0 Q}{\alpha_1 N_1^{\min}} - \frac{m_1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_1 \tau} \ln \frac{N_1(\tau)}{N_1(0)} = N_2^{\max}.$$

Ҳамин тавр,

$$\dot{N}_2 = N_2(-m_2 + k_1\alpha_1 N_1 - \alpha_1 N_3), \text{ мо } N_3(t) = \frac{k_1\alpha_1}{\alpha_2 N_1(t)} - \frac{m_2}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_2} \frac{d}{dt}(\ln N_2)$$

ва бинобар ин

$$\frac{N_3^\tau}{\alpha_2 N_1^{\min}} - \frac{m_2}{\alpha_2} - \frac{1}{\tau\alpha_2} \left(\ln \frac{N_2(\tau)}{N_2(0)} \right).$$

Шарти кифоягӣ. Бигзор шартҳои (10) қаноат карда шаванд ва чой дошта бошад. Нишон медиҳем, ки (9) мувофиқ аст. Хамин тавр,

$$\dot{N}_0 = Q - \alpha_0 N_0 N_1 \geq Q - \alpha_0 N_1 \frac{Q}{\alpha_0 N_1^{\min}}, \text{ яъне } \frac{Q}{N_1^{\min}} N_1 \geq Q - \dot{N}_0, \text{ пас, нобаробарии}$$

охирино нисбат ба t аз 0 то τ интеграл гирифта, ҳосил мекунем:

$$\frac{QN_1^\tau}{N_1^{\min}} \geq Q + \frac{1}{\tau} [N_0(0) - N_0(\tau)] \geq Q + \frac{1}{\tau} \left[N_0(0) - \frac{Q}{\alpha_0 N_1^{\min}} \right] = Q.$$

Теоремаи 2. Бигзор шартҳои теорема 1 риоя шаванд ва $Q = Q(t) \in C_{[0,t_k]}$, $\bar{Q} = \|Q\|_C = \max|Q|$, $\underline{Q} = \min|Q|$. Пас, баҳоҳои (9) ва (10) дурустанд, ки дар он Q бояд ҳамчун $\bar{Q} = \|Q\|_C = \max|Q|$ ва ба хамин монанд ҳамчун $\underline{Q} = \min|Q|$ гирифта мешавад [2-6].

Исбот. Дар ҳақиқат

$$N_0(t) = N_0(0) \exp\left(-\alpha_0 \int_0^t N_1(\xi) d\xi\right) + \int_0^t Q(\xi) \exp\left(-\alpha_0 \int_\xi^t N_1(t) dt\right) d\xi \leq$$

$$\leq \left[N_0(0) - \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^{\min}} \right] e^{-\alpha_0 N_1^{\min} t} + \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^{\min}}$$

$$\text{ва } N_0(t) = N_0(0) \exp\left(-\alpha_0 \int_0^t N_1(\xi) d\xi\right) + \int_0^t Q(\xi) \exp\left(-\alpha_0 \int_\xi^t N_1(t) dt\right) d\xi \geq$$

$$\geq \left[N_0(0) - \frac{\underline{Q}}{\alpha_0 N_1^{\max}} \right] e^{-\alpha_0 N_1^{\max} t} + \frac{\underline{Q}}{\alpha_0 N_1^{\max}}, \text{ он гоҳ ҳалли масъалаи муҳофизат ба қимати } \bar{Q}$$

вобаста аст. Аз ин чо $N_0(0) - \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^{\min}} \leq 0$, $\left[N_0(0) - \frac{\underline{Q}}{\alpha_0 N_1^{\max}} \geq 0 \right]$ ва аз ин рӯ мо

нобаробарҳои зеринро ҳосил мекунем: $\bar{Q} \geq N_0(0)\alpha_0 N_1^{\min}$, $\underline{Q} \leq N_0(0)\alpha_0 N_1^{\max}$ ва

$$\text{бинобар ин } N_0(t) \leq \frac{\bar{Q}}{\alpha_0 N_1^{\min}}, N_0(t) \geq \frac{\underline{Q}}{\alpha_0 N_1^{\max}}.$$

Исботи ин теорема 2 ба мисли исботи теорема 1 амалӣ карда мешавад.

Шарҳ. Аз теоремаҳои 1, 2 бармеояд, ки агар $\tau \rightarrow \infty$, пас,

$$N_1^\tau \geq N_1^{\min}, \quad N_1^{\min} \in \left[\frac{m_2}{k_1\alpha_1}, \frac{k_0 Q}{m_1} \right], \quad N_2^\tau \leq N_2^{\max}, \quad N_2^{\max} = \frac{k_0 Q}{\alpha_0 N_1^{\min}} - \frac{m_1}{\alpha_1},$$

$$N_3^\tau \geq N_3^{\min}, \quad N_3^{\min} = \frac{k_1\alpha_1}{\alpha_2} N_1^{\min} - \frac{m_2}{\alpha_2}, \quad \left(Q \geq \frac{m_1 m_2}{k_0 k_1 \alpha_1} \right),$$

яъне ҳалли масъалаи ҳифз ба ҳалли масъалаи ҳифзи стационарӣ майл дорад.

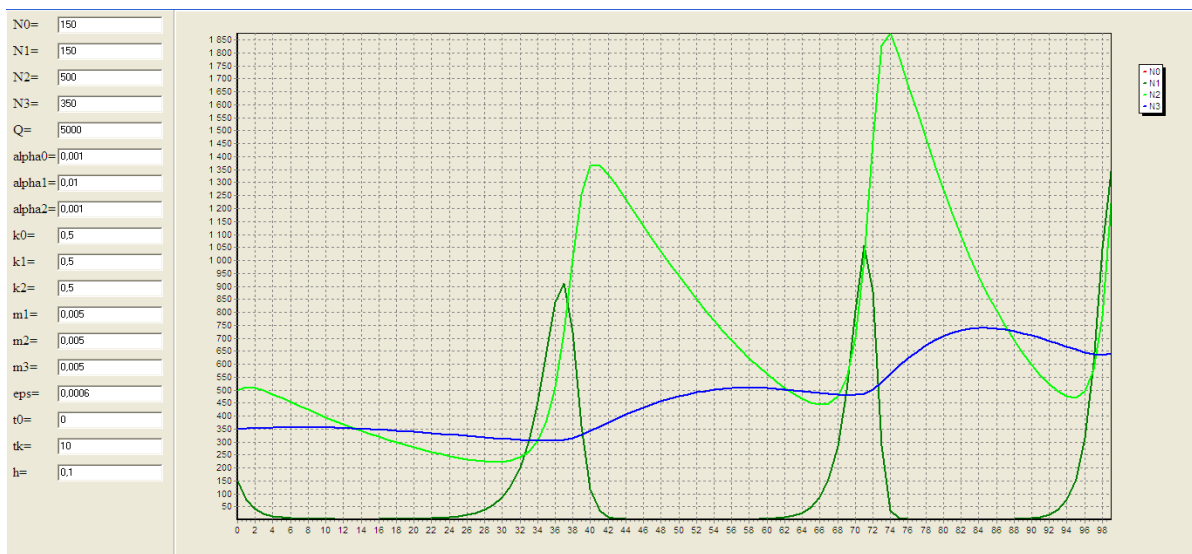
Таҷрибагузарониҳои компютери масъала. Таҷрибагузарониҳои компютерӣ дар забони барномасозии Borland C++ Builder 6.0, оид ба масъалаи муҳофизати

популяцсияи намудҳои моҳиҳои нодир бо усули Рунге-Кутта ҳангоми тағйирёбии суръати воридшавии захираҳои манбаи беруна дар системаи экологии се сатҳи трофики гузаронида мешавад. Ҳангоми сохтани алгоритми ҳалли системаи (6) мо аз усули Рунге-Кутта, тартиби чорум истифода мебарем.

Расми 1. Таҷрибагузаронию компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии масъалаи муҳофизати популяцсияи намудҳои моҳиҳои нодир

Рисунок 1. Компьютерный эксперимент с возможными значениями в математической модели задачи охраны популяции редких видов рыб

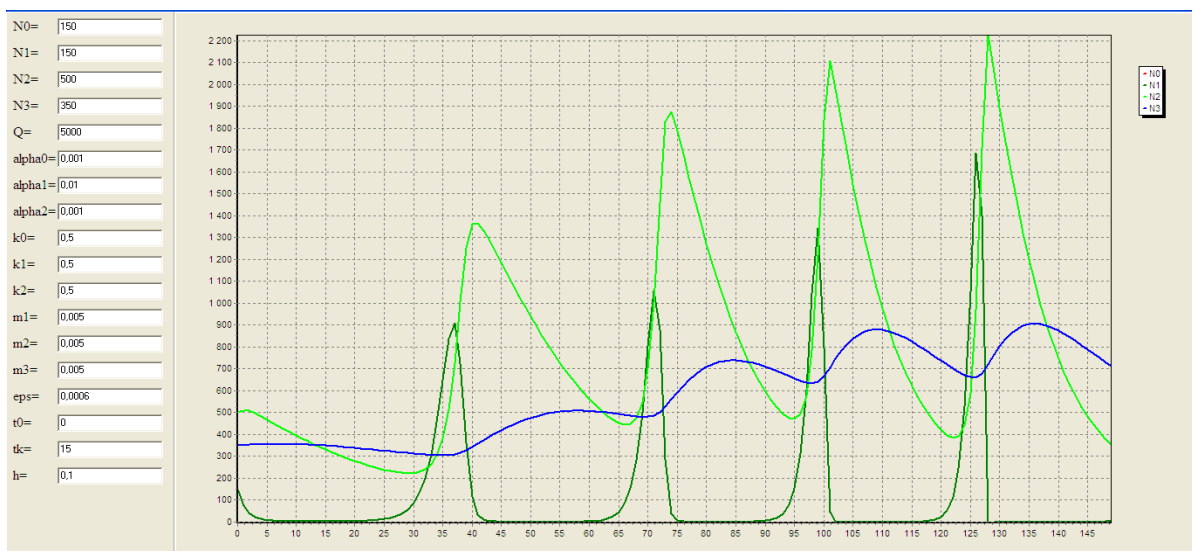
Figure 1. Computer experiment with possible values in the mathematical model of the problem of protecting the population of rare fish species



Расми 2. Таҷрибагузаронию компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии масъалаи муҳофизати популяцсияи намудҳои моҳиҳои нодир

Рисунок 2. Компьютерный эксперимент с возможными значениями в математической модели задачи охраны популяции редких видов рыб

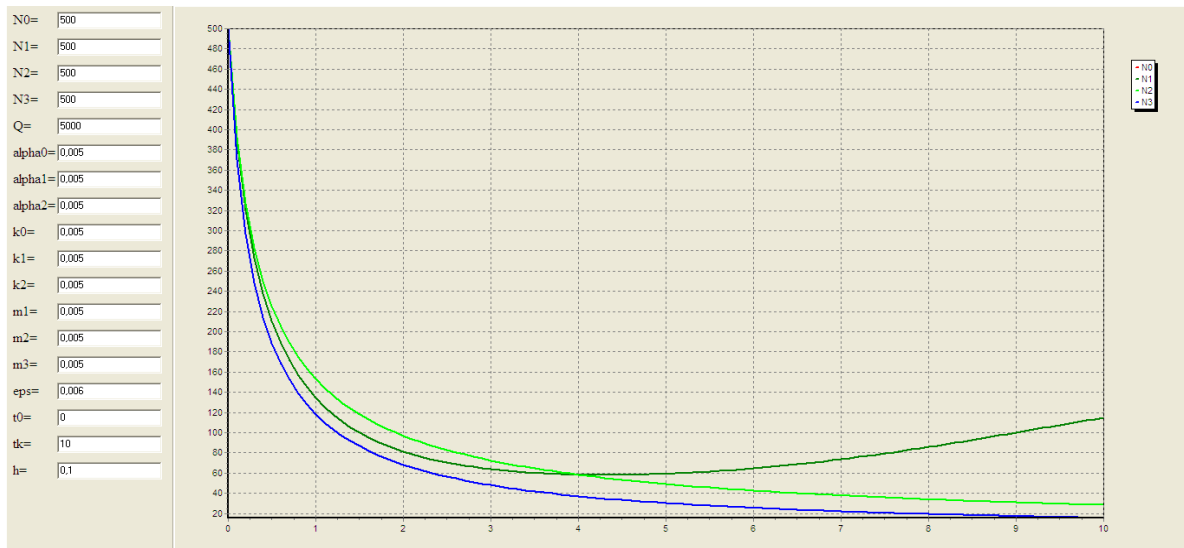
Figure 2. Computer experiment with possible values in the mathematical model of the problem of protecting the population of rare fish species



Расми 3. Таҷрибагузаронии компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии масъалаи муҳофизати популятсияи намудҳои моҳиҳои нодир

Рисунок 3. Компьютерный эксперимент с возможными значениями в математической модели задачи охраны популяции редких видов рыб

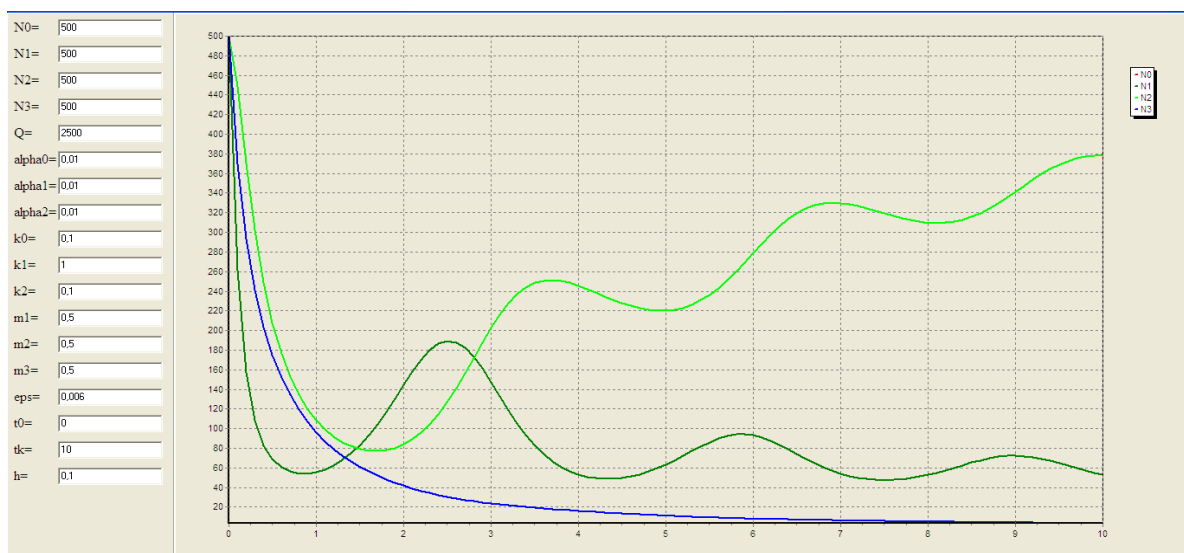
Figure 3. Computer experiment with possible values in the mathematical model of the problem of protecting the population of rare fish species



Расми 4. Таҷрибагузаронии компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии масъалаи муҳофизати популятсияи намудҳои моҳиҳои нодир

Рисунок 4. Компьютерный эксперимент с возможными значениями в математической модели задачи охраны популяции редких видов рыб

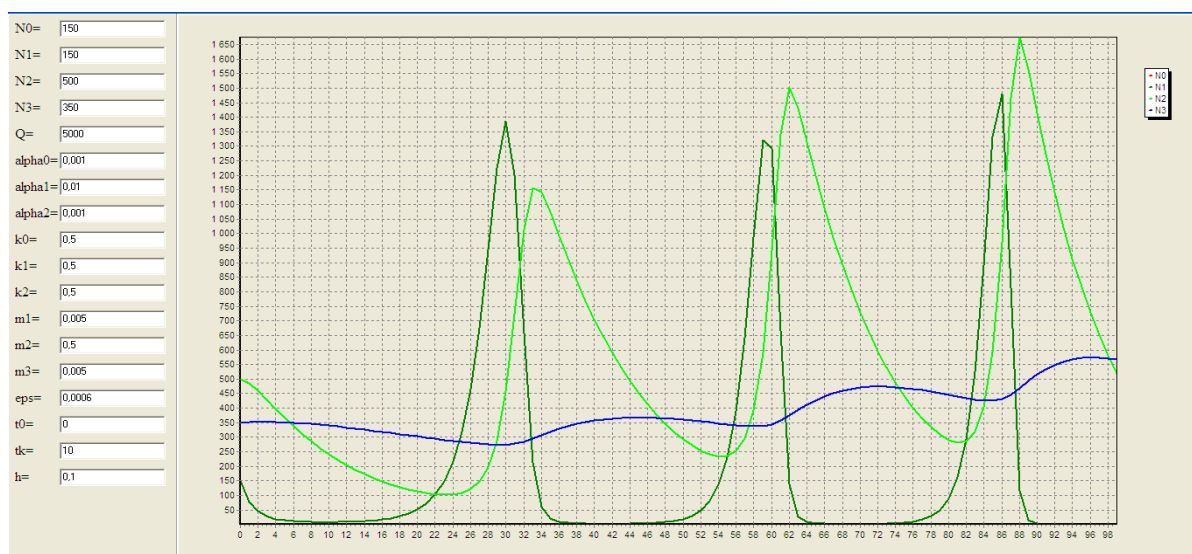
Figure 4. Computer experiment with possible values in the mathematical model of the problem of protecting the population of rare fish species



Расми 5. Таҷрибагузаронии компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии масъалаи муҳофизати популятсияи намудҳои моҳиҳои нодир

Рисунок 5. Компьютерный эксперимент с возможными значениями в математической модели задачи охраны популяции редких видов рыб

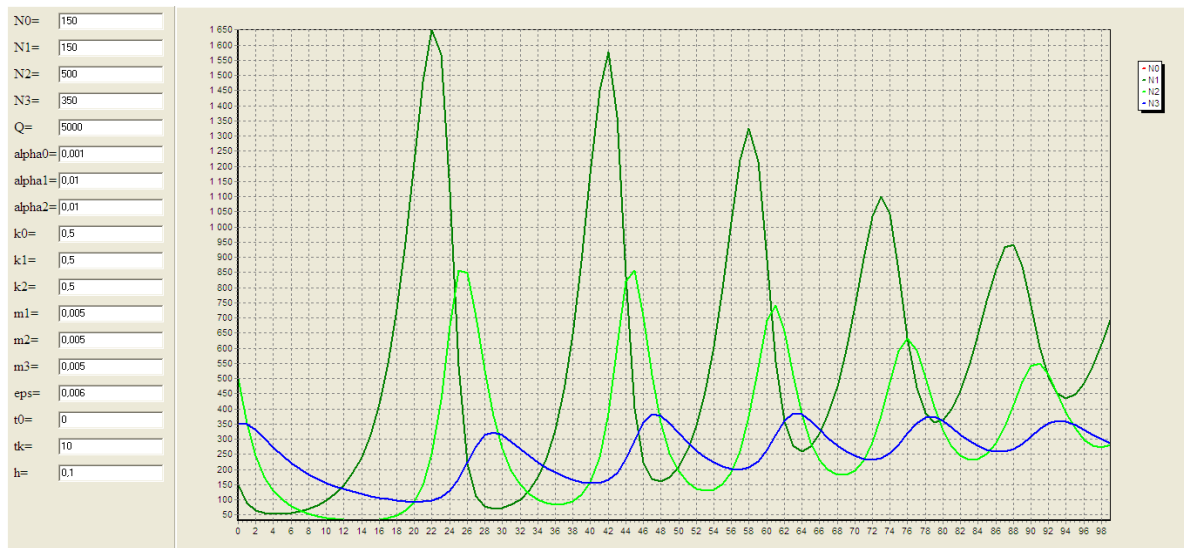
Figure 5. Computer experiment with possible values in the mathematical model of the problem of protecting the population of rare fish species



Расми 6. Таҷрибагузаронии компютерӣ бо қиматҳои имконпазир дар модели математикии масъалаи муҳофизати популятсияи намудҳои моҳиҳои нодир

Рисунок 6. Компьютерный эксперимент с возможными значениями в математической модели задачи охраны популяции редких видов рыб

Figure 6. Computer experiment with possible values in the mathematical model of the problem of protecting the population of rare fish species



Аз маълумотҳои расмҳо бармеояд, ки натиҷаҳои таҷрибаҳо бо ҳатти қачи назариявии навъи моделҳои мавҷудбудаи дар амал истифодашаванда мувофиқати хуб доранд.

АДАБИЁТ

1. Ниматова, М.Х. Масъалаи муҳофизати намудҳои моҳиҳои нодир дар ҳолати статсионарӣ / М.Х. Ниматова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2022. – №2. – С. 90-101. – EDN VIAMMX.
2. Юнусов, М.К. Оптимальное управление в биосистеме «хищник-жертва» / М.К. Юнусов // Известия АН Тадж. ССР, отд. физ.-мат. наук. – 1981. – № 2. – С.81-85.

3. Юнусов, М.К. Математические модели защиты растений и охраны популяций животных / М.К.Юнусов. – Душанбе, 1988. – 290 с.
4. Юнуси, М.К. Математические модели управления агроценозами и охраняемыми биологическими популяциями / М.К. Юнуси // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – М.: ВЦ АН СССР, 1990. – 313 с.
5. Юнуси, М. Определение критических значений для популяций входящих в экосистемы трех трофических уровней) / М. Юнуси, М. Юнусов // Журнал общей биологии. – 1982. – №6. – С. 836.
6. Юнуси, М.К. Оптимальное управление в задачах защиты планируемого урожая, охраняемых биологических популяций и их приложения / М.К. Юнуси. – Душанбе: Сино, 2018. – 287 с.
7. Ниматова, М.Х. Оптимизация процесса выращивания рыб в биопрудах / М.Х. Ниматова, С.А. Одинаева // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2013. – №1/2 (106). – С. 43-47.
8. Юнуси, М.К. Об условиях существования решения задачи сбора планируемого урожая рыбных популяций с учетом пространственных распределений / М.К. Юнуси, М.Х. Ниматова // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2014. – №1/3 (134). – С. 3-6.
9. Ниматова, М.Х. Численные эксперименты с дифференциальной модели «пища-рыба» с учетом конкуренции / М.Х. Ниматова // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – №1/4 (168). – С. 20-23.
10. Юнуси, М.К. Обоснование проблемы устойчивого развития модельной системы «вода - население» и ее использование в управлении каскадными водоемами с ГЭС, садовыми экосистемами и автоматизацией рыбоводства в продовольственной проблеме Республики Таджикистан / М.К. Юнуси, С. Ризоев, М. Нематова, Х. Махмадалиев // Вестник Таджикского национального университета, Серия естественных наук. – 2020. – №1. – С. 56-78.
11. Одиназода, С.А. Разработка математической модели оценки численности редких и находящиеся под угрозой исчезновения видов животных / С.А. Одиназода // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2021. – № 3. – С. 18-23.
12. Давлатов, Д.М. Масъалаи баҳодихӣ ва пахншавии «қазни зиёди бадан ва бемории фарбеҳӣ» дар ҳолати статсионарӣ / Д.М. Давлатов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2022. – №2. – С. 68-78. – EDN QTXXZX.
13. Уатт, К. Экология и управление природными ресурсами / К. Уатт. – М.: Мир, 1971. – 463 с.
14. Свирежев, Ю.М. Математическое моделирование биологических систем / Ю.М. Свирежев, Е.Я. Елизаров. – М.: Наука, 1972. – 159 с.
15. Полуэктова, Р.А. Динамическая теория биологических популяций / Р.А. Полуэктова. – М.: Наука, 1974. – 455 с.
16. Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. – М.: Наука, 1976. – 286 с.
17. Ҳайтов, А.Х. Асосҳои биологии баланд бардоштани ҳосилнокии кӯлҳои моҳипарварӣ дар Тоҷикистон / А.Х. Ҳайтов // Маҷалаи «Кишоварз». Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шоҳтемур. – 2015. – №1. – С.42-44. – EDN TSZZYD.

REFERENCES

1. Nimatova, M.H. The task of protecting rare fish species in a stationary case / M.H. Nimatova // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2022. – No. 2. – Pp. 90-101.
2. Yunusov, M.K. Optimal control in the biosystem «predator-victim» / M.K. Yunusov // Izvestiya of AS Taj. SSR, dep. phys.-mat. Sciences. – 1981. – No. 2. – Pp. 81-85.
3. Yunusov, M.K. Mathematical models of plant protection and protection of animal populations / M.K. Yunusov. – Dushanbe, 1988. – 290 p.
4. Yunusi, M.K. Mathematical models of management of agrocenoses and protected biological populations / M.K. Yunusi // Dissertation for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences. – M.: Computing Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1990. – 313 p.
5. Yunusi, M. Determination of critical values for populations of ecosystems of three trophic levels) / M. Yunusi, M. Yunusov // Journal of General Biology. –1982. – No. 6. – Pp. 836.
6. Yunusi, M.K. Optimal control in the tasks of protecting the planned crop, protected biological populations and their applications / M.K. Yunusi. –Dushanbe: Sino, 2018. – 287 p.
7. Nimatova, M.H. Optimization of the process of growing fish in bioponds / M.H. Nimatova, S.A. Odinaeva // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2013. – No. 1/2 (106). – Pp. 43-47.
8. Yunusi, M.K. On the conditions for the existence of a solution to the problem of collecting the planned harvest of fish populations taking into account spatial distributions / M.K. Yunushi, M.H. Nimatova // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2014. – No. 1/3 (134). – Pp. 3-6.

9. Nimatova, M.H. Numerical experiments with the differential model "food-fish" taking into account competition / M.H. Nimatova // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2015. – No. 1/4 (168). – Pp. 20-23.
10. Yunusi, M.K. Substantiation of the problem of sustainable development of the model system "water - population" and its use in the management of cascade reservoirs with hydroelectric power plants, garden ecosystems and automation of fish farming in the food problem of the Republic of Tajikistan / M.K. Yunusi, S. Rizoiev, M. Nematova, H. Makhmadaliev // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2020. – No. 1. – Pp. 56-78.
11. Odinzoda, S.A. Development of a mathematical model for assessing the number of rare and endangered species of animals / Odinzoda S.A. // Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan. – 2021. – No. 3. – Pp. 18-23.
12. Davlatov, D.M. The problem of assessing and prevalence of «overweight and obesity» in the inpatient case / D.M. Davlatov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2022. – No. 2. – Pp. 68-78. – EDN QTXZXZ.
13. Watt, K. Ecology and natural resource management / K. Watt. – M.: Mir, 1971. – 463 p.
14. Svirezhev, U.M. Mathematical modeling of biological systems / U.M. Svirezhev, E. Y. Elizarov. – M.: Nauka, 1972. – 159 p.
15. Poluektova, R.A. Dynamic theory of biological populations / R.A. Poluektova. – M.: Nauka, 1974. – 455 p.
16. Volterra, V. Mathematical theory of the struggle for existence / V. Volterra. – M.: Nauka, 1976. – 286 p.
17. Khaitov, A.Kh. Biological bases for increasing the productivity of fish ponds in Tajikistan / A.Kh. Khaitov // Magazine «Kishovarz». Tajik Agrarian University named Shirinsho Shotemur. – 2015. – No. 1. – Pp. 42-44. – EDN ZZZYD.

МОДЕЛСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ МАСЪАЛАИ БАХОДИҲӢ ВА МУҲОФИЗАТИ НАМУДҲОИ МОҲИҲОИ НОДИР

Мақолаи мазкур ба тадқиқи компютери масъалаи муҳофизати популятсияи намудҳои моҳиҳои нодир вобаста аз вақт ҳангоми тағйирёбии суръати воридшавии захираҳои манбаи беруна дар системаи экологии се сатҳи трофӣ бахшида шуда аст. Ба ҳамаи мо маълум аст, ки айни ҳол дар ҷаҳони бештари давлатҳо барои нигоҳ доштани намудҳои моҳиҳои нодир ва нестшаванда ба сохтани минтақаҳои моҳипарварӣ кӯшиш ба харҷ медиҳанд. Ба ҳамин сабаб мо бояд кӯшиш намоем, ки намудҳои моҳиҳои нодир ва нестшавандаи дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мавҷудбударо муҳофизат намоем. Барои муҳофизати намудҳои моҳиҳои нодир ва нестшаванда дар мақолаи мазкур модели математикии се сатҳи трофӣ дар ҳолати «растаниҳои зеробӣ (водораслӣ), моҳӣ ва моҳии дарранда дида баромада шуда аст. Қайд кардан ба маврид аст, ки ҳолати ғайрестационарии масъалаи муҳофизат барои намудҳои растаниҳои зеробӣ (водораслӣ) моҳӣ-моҳии дарранда дида баромада шуда аст. Барои ёфтани қиматҳои критикӣ, яъне ҳалли масъалаи муҳофизат ҳолатеро дида баромадем, ки вазъи популятсияи дар модели математикии сохташудаи системаи биологӣ тавассути қонуни Вольтерра навишта мешавад. Инчунин, масъалаи муҳофизати намудҳои нодир ва пунарзиши популятсияи моҳиҳо баррасӣ шудааст, ки он аз дарёфти арзишҳои минималӣ ва максималии диапазони тағйироти системаҳои экологии обӣ иборат аст. Аз маълумотҳои расмӣ бармеояд, ки натиҷаҳои таҷрибаҳо бо хатти қачи назариявии навъи моделҳои мавҷудбудаи дар амал истифодашаванда мувофиқати хуб доранд.

Калидвожаҳо: моҳипарварӣ, аквакултура, модели математикӣ, экосистема, растаниҳои зеробӣ, моҳӣ, моҳии дарранда, популятсия, вақт, биомасса, захира, муҳофизат.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И ОХРАНЫ РЕДКИХ ВИДОВ РЫБ

Данная статья посвящена компьютерному исследованию задачи защиты популяции редких видов рыб в зависимости от времени и скорости поступления ресурсов из внешних источников в экосистему трех тропических уровней. Многие страны мира в настоящее время работают над созданием рыбных ферм для сохранения редких и исчезающих видов. По этой причине мы должны попытаться защитить редкие и исчезающие виды рыб в Республике Таджикистан. Для защиты редких и исчезающих видов рыб в данной статье рассматривается математическая модель трех трофических уровней в случае подводных растений (водных растений), рыб и хищных рыб. Следует отметить, что рассмотрен нестационарный случай задачи защиты водорослей – рыб – хищных рыб. Чтобы найти критические значения, то есть решить задачу сохранения, мы рассмотрели случай, когда состояние популяции входит в математическую модель биологической системы по закону Вольтерра. А также рассмотрена задача охраны редких и ценных видов популяций рыб, которая состоит в нахождении минимального и максимального значений диапазонов изменения водных

экологических систем. Данные рисунков показывают, что результаты экспериментов хорошо согласуются с теоретической кривой типа существующих моделей, используемых на практике.

Ключевые слова: рыбоводство, аквакультура, математическая модель, экосистема, водоросли, рыба, хищная рыба, популяция, время, биомасса, ресурс, защита.

COMPUTER MODELING OF THE PROBLEM OF EVALUATION AND PROTECTION OF RARE FISH SPECIES

This article is devoted to a computer study of the problem of protecting the population of rare fish species depending on time at the rate of receipt of resources from external sources in the ecosystem of three tropical levels. We all know that many countries around the world are currently working on the creation of fish farms to preserve rare and endangered species. For this reason, we must try to protect rare and endangered fish species in the Republic of Tajikistan. To protect rare and endangered fish species, this article discusses a mathematical model of three trophic levels in the case of underwater plants (aquatic plants), fish and predatory fish. It should be noted that the non-stationary case of the problem of protecting algae - fish - predatory fish is considered. To find the critical values, that is, to solve the conservation problem, we considered the case when the state of the population is included in the mathematical model of a biological system according to Voltaire's law. And also the problem of protection of rare and valuable species of fish population is considered, which consists in finding the minimum and maximum values of the ranges of changes in aquatic ecological systems. The paper considers the problem of protecting rare fish species, taking into account the variable resource rate by the method of solutions, Professor Yunusi. The task of protecting rare and valuable species of fish populations is to find the minimum and maximum values of the ranges of changes in aquatic ecological systems. These figures show that the results of the experiments are in good agreement with the theoretical curve of the type of existing models used in practice.

Keyword: fish breeding, aquaculture, mathematical model, ecosystem, seaweed, fish, predatory fish, population, time, biomass, resource, protection.

Маълумот дар бораи муаллиф: Ниматова Матлуба Ҳакимовна – ассистенти кафедраи моделсозии математикӣ ва компютерии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734055, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 988-29-81-81. **E-mail:** mnimatova@list.ru.

Сведения об авторе: Ниматова Матлуба Ҳакимовна – ассистент кафедры математического и компьютерного моделирования Таджикского национального университета. **Адрес:** 734055, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 988-29-81-81. **E-mail:** mnimatova@list.ru.

Information about author: Nimatova Matluba Hakimovna – Assistant of the Chair of Mathematical and Computer Modeling of the Tajik National University. **Address:** 734055, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 988-29-81-81. **E-mail:** mnimatova@list.ru.

Муқарриз: Мирзоев С.Х. – доктори
илмҳои техникии Донишгоҳи
миллии Тоҷикистон

ТАТБИҚИ СИСТЕМАИ ХИЗМАТРАСОНИИ ОММАВӢ ДАР КОРКАРДИ ДАРХОСТҲОИ ОНЛАЙНӢ

Ёров М.Р., Комилийн Ф.С.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муқаддима. Рушди тафаккури техникийи ҷомеа бо масъалаи истифодаи самараноки технологияҳои иттилоотӣю коммуникатсионӣ (ТИК) робитаи ногусастанӣ дорад. Худкорсозии фаъолият ва идораи корхонаву муассисаҳо низ дар заминаи истифодаи ҳамин технологияҳо ба роҳ монда мешавад, ки дар кишвари мо ба ин масъала аҳаммияти аввалиндараҷа дода мешавад [5].

Имрӯз татбиқи технологияҳои иттилоотӣю коммуникатсиониро на танҳо дар пешбурд ва идоракунии фаъолияти корхонаву муассисаҳо, балки дар таҳқиқи системаҳои гуногуни иқтисодӣ, иҷтимоӣ, экологӣ, маориф, фарҳанг ва ғайра мушоҳида кардан мумкин аст. Барои арзёбӣ ва пешгӯии вазъи ин системаҳо аз усулҳои пешқадами амсиласозии математикию компютерӣ васеъ истифода мебаранд [2, 4-19].

Дар баробари масъалаҳои идоракунии ва худкорсозии фаъолияти дар заминаи ТИК амалкунандаи корхонаҳо, ки омили таъминкунандаи шаффофият, вусъатдиҳандаи сифати кор ва сари вақт иҷро гаштани вазифаҳои истехсолӣ мебошанд, ҳоло масъалаи дар сатҳи зарурӣ ба роҳ мондани хизматрасониҳои оммавии шабакавӣ ба яке аз масъалаҳои мубрами рӯз табдил ёфтааст.

Дар самти татбиқи хизматрасониҳои оммавии шабакавию иттилоотӣ имрӯз аз ҷониби муҳаққиқони ҳам ватанӣ ва ҳам хориҷӣ корҳои муайяне ба анҷом расонида шудаанд [1-9, 14-20].

Мо низ масъалаи мазкурро мавриди омӯзиш, таҳлилу таҳқиқ ва татбиқи ҳамаҷониба қарор дода, дар ин самт якҷанд таҳқиқотҳои ҷолиб ба анҷом расонидем, ки қисми зиёди онҳо ба амсиласозии компютерию системаи хизматрасонии оммавии шабакавию иттилоотии Комиссияи олии аттестатсионӣ бахшида шудаанд. Амсилаи компютерию системаи хизматрасонии оммавии мазкур дастрасӣ ба маҳзани маълумоти Комиссияи олии аттестатсиониро дар вақти дискретӣ бо тартиби инверсионӣ ва афзалияти тасодуфӣ таъмин менамояд [4-6, 8-9, 14].

Умуман, муҳаққиқон вобаста ба ҳалли масъалаҳои гуногуни дар наздашон гузошташуда кӯшиш ба харҷ додаанд, ки системаи хизматрасонии оммавию дар соҳаҳои гуногуни фаъолияти инсон татбиқ намоянд. Масалан, муҳаққиқи рус А.А. Емельянов дар мақолаи «Амсिलाҳои равандҳои хизматрасонии оммавӣ» зимни таҳқиқи ин гуна системаҳо бахшҳои мувофиқи дастгоҳи муосири математикиро мушаххас гардонидааст, ки онҳо метавонанд ҳамчун василаи афзории қабули қарорҳо дар идоракунии равандҳои гуногун ва захираҳои модӣ, иттилоотӣ, истехсолӣ, кадрӣ ва ғайра аз ҷониби соҳибкорон ва роҳбарони ширкатҳо истифода шаванд [3].

Тибқи андешаи муаллиф функсияи иқтисодии раванди тақсимои мехнат дар корхона бояд ба ҳадафҳои шахсе мувофиқ бошад, ки ӯ қарор қабул мекунад. Дар ҳолати умумӣ, барои ҳалли масъалаи хизматрасонии оммавӣ, ба сифати функсияи иқтисодӣ хароҷоти пурраи интизории муштариён ва бекористии каналҳои хизматрасонӣ, ё аниқтараш, интизорияти математикии хароҷоти дар натиҷаи интизории муштариён ва бекористии кормандони хизматрасон (каналҳо ё дастгоҳҳо) бавучудода ба ҳисоб гирифта мешавад.

Муҳаққиқи ўзбек Х.К. Қаршибоев бошад, дар таҳқиқоти худ «Тафсири математикии хизматрасонии оммавӣ», бо мақсади муайян кардани фаъолияти босамари ниҳодҳои хизматрасонии оммавӣ ва дарёфти роҳҳои оптималии ба аҳолии хизмат расонидан, усули махсуси математикии таҳлили фаъолияти ин гуна ниҳодҳоро пешкаш кардааст [7].

Муаллифи мазкур ба сифати объекти таҳқиқотӣ таҳлили фаъолияти хизматрасонии оммавии «супермаркети» бузурги аз аҳолии фармоишгирандари баррасӣ намудааст, ки дар он дастгоҳи математикии кор карда баромадааш татбиқ карда шудааст.

Гузориши масъала. Мо дар ин ҷо тасмим гирифтаем, ки бо истифода аз усули барномасозии компютерӣ системаи хизматрасонии оммави (СХО)-ро дар қабул ва коркарди дархостҳои онлайнӣ (онлайн-дархостҳо) татбиқ намоем. Мақсад аз татбиқи СХО дар онлайн-дархостҳо аз он иборат аст, ки навбати қалоне, ки барои коркарди дархостҳои муштариёни шабақаҳои гуногуни иттилоотӣ ба вуҷуд меояд, ба таври худкор ба танзим оварда шавад. Хусусияти фарқкунандаи ин таҳқиқот аз таҳқиқотҳои болозикр маҳз дар ҳамин ҷиҳат зоҳир мегардад.

Дар таҳқиқоти мазкур мо коркарди пайдарпайии дархостҳои онлайнӣ муштариёро танҳо барои системаи хизматрасонии оммавии якканала дида мебароем.

Бигузур бо тартиби $i = 1, 2, 3, \dots, n$ аз ҷониби муштариён ба системаи иттилоотӣ n дархост ворид шуда бошад. Вақти интизории коркарди ҳар як дархостро бо t_i ишора намуда, фарз мекунем, ки ҳангоми сари вақт коркард нашудани дархости i -юм аз ниҳоди хизматрасон ба миқдори pen_i воҳиди ченаки шартӣ ҷарима ситонида мешавад.

Барои ёфтани тартиби оптималии коркарди дархостҳои воридотӣ аз усули ҷойивазкунии рақами дархостҳо истифода мебарем. Барои ин пайдарпайии нави дар натиҷаи ҷойивазкунии рақами дархостҳо ҳосилшударо ба воситаи a ва пайдарпайии оптималии навбати коркарди дархостҳоро бо ёрии a_0 ишора менамоем.

Фарз мекунем, ки пайдарпайии оптималии навбати коркарди дархостҳо аллақай муайян шудааст. Суммаи ҷаримаҳои пайдарпайии нави коркарди дархостҳоро бо $S(a)$ ва суммаи ҷаримаҳои пайдарпайии оптималии коркарди дархостҳоро бо $S(a_0)$ ишора карда, охиронро дар намуди зерин тасвир мекунем:

$$S(a_0) = \min S(a).$$

Усули ҳалли масъала. Пайдарпайии оптималии коркарди дархостҳои $a_0 = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ -ро дар намуди $a_0 = \{1, 2, 3, \dots, k, k + 1, \dots, n\}$ менависем [1]. Усули ҷойивазкунии тартиби коркарди дархостҳои навбатро дар пайдарпайии оптималӣ як маротибаи дигар татбиқ намуда, ҷои рақами дархостҳои k ва $k+1$ -ро иваз мекунем. Дар натиҷа, пайдарпайии зерин ҳосил мегардад:

$$a = \{1, 2, 3, \dots, k + 1, k, k + 2, \dots, n\}.$$

Азбаски пайдарпайии оптималии навбати дархостҳо пешакӣ муайян шудааст, пас тибқи талаботи $S(a_0) = \min S(a)$ бояд шартҳои зерин иҷро гардад:

$$S(a_0) \leq S(a). \quad (1)$$

Аз ин ҷо, фарқи суммаи ҷаримаҳои пайдарпайии дархостҳои умумӣ ва оптималиро меёбем:

$$\Delta S(a) = S(a) - S(a_0) \geq 0. \quad (2)$$

Азбаски дар пайдарпайии оптималӣ чойҳои дархостҳои k -ум ва $k+1$ -ум иваз карда шудаанд, пас вақти интизории коркарди дархости k -ум ба t_{k+1} баробар шуда, ҷаримаи сари вақт коркард нагаштани он дар як воҳиди вақти шартӣ (сония, дақиқа, соат ё рӯз) бетағйир pen_k боқӣ мемонад.

Яъне, ҷаримаи умумии дархости k -ум ба $pen_k \cdot t_{k+1}$ ва дархости $k+1$ -ум ба $pen_{k+1} \cdot t_k$ баробар мешаванд. Аз ин ҷо маълум мегардад, ки ҷаримаи умумӣ аз ҳисоби вақти интизории дархости k -ум зиёд ва аз ҳисоби вақти интизории дархости $k+1$ -ум кам мегардад.

Ҷаримаҳои ҳосилшударо дар формулаи (2) гузошта, ҳосил мекунем:

$$\Delta S(a) = pen_k \cdot t_{k+1} - pen_{k+1} \cdot t_k \geq 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n-1 \quad (3)$$

ва формулаи (3)-ро дар намуди зерин менависем:

$$pen_k \cdot t_{k+1} \geq pen_{k+1} \cdot t_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n-1. \quad (4)$$

Азбаски $t_k > 0$ ва $t_{k+1} > 0$ мебошанд, пас ҳар ду қисми нобаробарии (4) -ро ба $t_k \cdot t_{k+1}$ тақсим намуда, ҳосил мекунем:

$$\frac{pen_k \cdot t_{k+1}}{t_k \cdot t_{k+1}} \geq \frac{pen_{k+1} \cdot t_k}{t_k \cdot t_{k+1}} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n-1. \quad (5)$$

Аз ин ҷо,

$$\frac{pen_k}{t_k} \geq \frac{pen_{k+1}}{t_{k+1}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n-1. \quad (6)$$

Дар ҳолати умумӣ $\frac{pen_i}{t_i}$ ҷаримаи нисбии сари вақт коркард нашудани дархости i -юмро ифода мекунанд ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

Тибқи нобаробарии (6) пайдарпайии дархостҳо оптималӣ мешавад, агар шартҳои зерин иҷро гарданд:

$$\frac{pen_1}{t_1} \geq \frac{pen_2}{t_2} \geq \frac{pen_3}{t_3} \geq \dots \geq \frac{pen_n}{t_n}. \quad (7)$$

Вақти интизории коркарди дархости i бо формулаи

$$t(i) = \sum_{i=1}^n t_{i-1} \quad (8)$$

($t_0 = 0$) ва суммаи ҷаримаҳои вақти интизории коркарди дархости i бо формулаи

$$s(i) = \sum_{i=1}^n pen_i \cdot t(i) \quad (9)$$

ҳисоб карда мешаванд.

Мантиқан вақти интизории коркарди дархости якум ҳамеша ба 0 (сифр) баробар буда, вақти интизории коркарди дархости дуум ба вақти коркарди дархости якум баробар аст. Аз рӯи ҳамин тартиб, вақти интизории коркарди дархости сеюм ба суммаи вақтҳои коркарди дархостҳои якум ва дуум баробар мешавад.

Вақти интизории коркарди дархостҳои навбатӣ низ аз рӯи ҳамин қонуният ҳисоб карда мешаванд. Масалан, вақти интизории коркарди дархости панҷум ба суммаи вақтҳои коркарди дархостҳои якум, дуум, сеюм ва чорум баробар аст.

Татбиқи усули ҳосилшуда дар онлайн-дархостҳо. Фарз мекунем, ки дар як вақт ба системаи хизматрасонии оммавии шабакавию иттилоотӣ 8 дархост бо

вақтҳои гуногуни интизорӣ ва ҷаримаҳои гуногун барои саривақт коркард нашудани ин дархостҳо ворид мешаванд. Система бояд дархостҳоро тавре қабул ва коркард намояд, ки ҷаримаи вақти интизории коркарди онҳо камтарин бошад.

Бо истифода аз ишораҳои болоӣ (i – рақами дархост, t_i – вақти интизории коркарди дархости i -юм, pen_i – ҷаримаи гузаштани вақти интизории коркарди дархости i -юм, a – пайдарпайии умумии дархостҳо, a_0 – пайдарпайии оптималии дархостҳо), ҷадвали зеринро барои 8 дархости додашуда тартиб медиҳем (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1. Ҷадвали қиматҳои t_i ва pen_i

Table 2. Table of values t_i and pen_i

i	1	2	3	4	5	6	7	8
t_i	3	4	2	1	6	2	3	7
pen_i	2	3	1	4	3	5	1	6

Ҷаримаи умумӣ барои вақти интизории коркарди ҳамаи дархостҳо аз рӯи формулаи (9) ҳисоб карда мешавад.

Барои дар шакли графикӣ тасвир намудани вақти интизории коркарди пайдарпайии дархостҳо маъмулан аз графикаи Гант¹ истифода мебаранд.

Барои тасвири графикаи вақти интизории коркарди дархости i ба ғайр аз бузургии дархостии болозикр, инчунин ворид намудани бузургии иловагии tw_i – суммаи вақтҳои интизории дархостҳои дигар ва дархости мазкур зарур аст (ҷадвали 2).

Ҷадвали 3. Ҷадвали қиматҳо барои таҳияи графикаи Гант

Table 4. Table of values for creating Gantt chart

i	1	2	3	4	5	6	7	8
t_i	3	4	2	1	6	2	3	7
pen_i	2	3	1	4	3	5	1	6
tw_i	3	7	9	10	16	18	21	28

Графикаи Гант, ки бо ёрии ҚЭ Excel 2013 дар заминаи маълумоти ҷадвали 2 барои тасвири раванди интизории коркарди дархостҳо сохта шудааст, дар расми 1 инъикос ёфтааст.

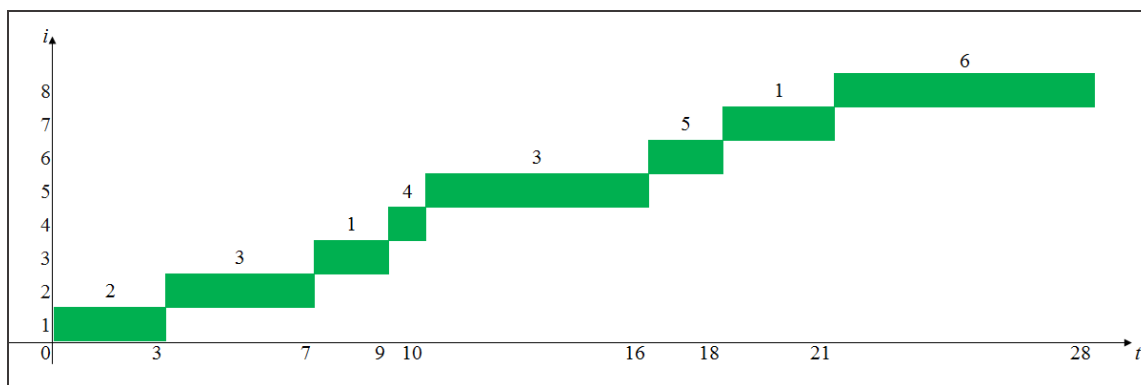
Бо истифода аз формулаи (9) суммаи ҷаримаҳои умумии гузаштани вақти коркарди дархостҳоро ҳисоб мекунем:

$$S(a) = 2 \cdot 0 + 3 \cdot 3 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 9 + 3 \cdot 10 + 5 \cdot 16 + 1 \cdot 18 + 6 \cdot 21 = 306.$$

Расми 1. Тасвири интизорияти иҷрои дархостҳо дар графикаи Гант

Figure 1. Chart of waiting for the execution of requests in Gantt chart

¹ Графикаи Гант аз ҷониби олими амрикоӣ Ҳенри Лоуренс Гант соли 1910 сохта шуда, дар таҳияи нақшаи лоиҳаҳо бо номи Гант-чарт (Gantt chart) маъруф аст.



Акнун бо истифода аз нобаробарии (7) ҷаримаи нисбии дархостҳоро ҳисоб намуда, дар ҷадвали зерин мегузорем (ҷадвали 3).

Ҷадвали 5. Ҷадвали қиматҳои ҷаримаҳои нисбии дархостҳо
Table 3. Table of values of relative fines of requests

i	1	2	3	4	5	6	7	8
t_i	3	4	2	1	6	2	3	7
pen_i	2	3	1	4	3	5	1	6
$\frac{pen_i}{t_i}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	4	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{6}{7}$

Пайдарпайии ҷаримаҳои нисбии дархостҳоро дар ҷадвал бо тартиби камшавиашон ҷойгир мекунем (ҷадвали 4):

Ҷадвали 6. Ҷадвали қимати ҷаримаҳои нисбии дархостҳо бо тартиби камшавӣ
Table 4. Table of values of relative fines of requests in descending order

i	4	6	8	2	1	3	5	7
$\frac{pen_i}{t_i}$	4	$\frac{5}{2}$	$\frac{6}{7}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$

Тавре аз қимати ҷаримаҳои нисбии дархостҳои дар ҷадвали 4 овардашуда дида мешавад, $4 > \frac{5}{2} > \frac{6}{7} > \frac{3}{4} > \frac{2}{3} > \frac{1}{2} = \frac{1}{2} > \frac{1}{3}$ аст. Пас, ба сифати пайдарпайии оптималии коркарди дархостҳо пайдарпайии нави ҳосилшудаи $a_{01} = (4,6,8,2,1,3,5,7)$ -ро қабул кардан мумкин аст.

Азбаски ҷаримаҳои нисбии дархостҳои рақамашон ба ададҳои 3 ва 5 баробарбуда бо ҳам баробаранд ($\frac{1}{2}$), аз ин лиҳоз, мо метавонем ҷойи дархостҳои рақамашон ба 3 ва ба 5 баробарбударо иваз карда, боз соҳиби як ҳалли оптималии ҷаримаситонии дигар шавем (2! - миқдори имконпазири ҷойивазкунии рақамҳои дархостҳо). Зеро дар ин маврид суммаи оптималии ҷаримаҳо барои сари вақт коркард нагаштани дархостҳо бетағйир мемонад (ҷадвали 5).

Чадвали 5. Чадвали қимати ҷаримаҳои нисбии дархостҳо пас аз ҷойивазкунии рақами дархостҳои 3 ва 5

Table 5. Table of values of relative fines of requests after displacement requests 3 and 5

i	4	6	8	2	1	5	3	7
$\frac{pen_i}{t_i}$	4	$\frac{5}{2}$	$\frac{6}{7}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$

Аз ин $r\bar{u}$, ба сифати пайдарпайии оптималии коркарди дархостҳо пайдарпайии $a_{02} = (4,6,8,2,1,5,3,7)$ -ро низ қабул намудан мумкин аст, ки суммаи оптималии ҷаримаҳои он ба суммаи оптималии ҷаримаҳои пайдарпайии $a_{01} = (4,6,8,2,1,3,5,7)$ баробар аст.

Барои сохтани графики Гант яке аз пайдарпайиҳои оптималии a_{01} ё a_{02} -ро истифода бурда, ба таҳияи чадвали навбатӣ (чадвали 6) мегузарем. Мо дар сохтани графики Гант аз пайдарпайии оптималии a_{01} истифода намудем.

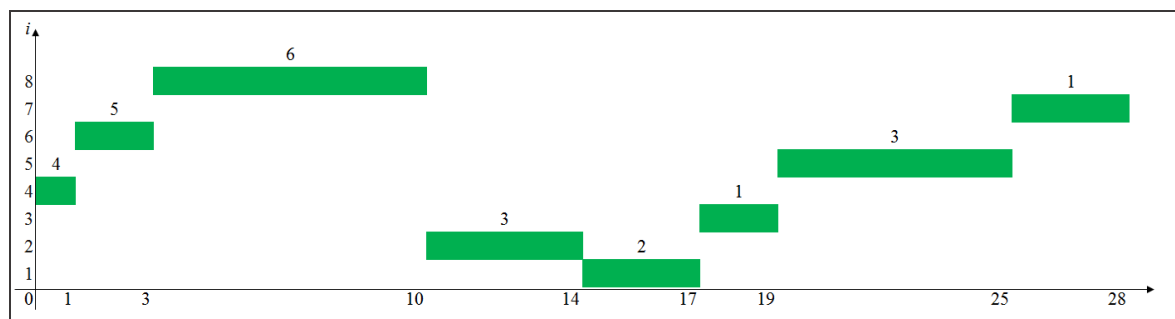
Чадвали 6. Чадвали қиматҳои оптималӣ барои таҳияи графики Гант
Table 6. Table of optimal values for creating Gantt chart

i	4	6	8	2	1	3	5	7
t_i	1	2	7	4	3	2	6	3
pen_i	4	5	6	3	2	1	3	1
tw_i	0	3	10	14	17	19	25	28

Дар расми 2 графики навбатии Гант оварда шудааст, ки дар заминаи маълумоти чадвали 6 сохта шуда, раванди интизорияти оптималии коркарди дархостҳоро тасвир менамояд.

Расми 2. Тасвири интизорияти оптималии коркарди дархостҳо дар графики Гант

Figure 2. Chart of the optimal waiting time for processing requests in the Gantt chart



Акнун аз нав бо истифода аз формулаи (9) суммаи ҷаримаҳои оптималии сари вақт коркард нашудани дархостҳоро ҳисоб мекунем:

$$S(a_{01}) = 2 \cdot 0 + 5 \cdot 1 + 6 \cdot 3 + 3 \cdot 10 + 2 \cdot 14 + 1 \cdot 17 + 3 \cdot 19 + 1 \cdot 25 = 180.$$

Бо ёрии формулаи (2) фарқи байни чаримаҳои умумӣ ва оптималии сари вақт коркард нашудани дархостҳоро меёбем:

$$\Delta S(a) = 306 - 180 = 126.$$

Тавре аз натиҷаи ҳисоббарорӣ дида мешавад, фарқи байни чаримаҳои пайдарпайҳои умумӣ ва оптималии сари вақт коркард нагаштани дархостҳо 126 воҳиди ченаки шартиро ташкил додааст, ки ин нишондиҳанда дар байни тамоми чаримаҳои умумии сари вақт иҷро нагаштани дархостҳо аз ҳама хурдтарин мебошад.

Бо мақсади худкор гардонидани раванди ҳисоббарорихоӣ дарёфти пайдарпайии оптималии коркарди дархостҳо аз усули барномасозии компютерӣ истифода мебарем.

Барномасозии раванди коркарди дархостҳои онлайнӣ. Барои таҳияи барномаи компютери коркарди дархостҳои онлайнӣ аз забони барномасозии объектгарои C# истифода бурда [10-13], бузургҳои (тағйирёбандаҳо, доимиҳо, массивҳо, намудҳо, навҳо, нишонаҳо ва ғайра) дар барнома истифодашавандаро пешакӣ муайян мекунем (ҷадвали 6).

Ҷадвали 7. Шарҳи бузургҳои дар барномаи компютерӣ истифодашаванда
Table 6. Description of the used variables in the computer program

Номи бузургӣ дар барнома	Ишораи бузургӣ дар формулаҳо	Навъи бузургӣ	Қиматҳои бузургӣ
Массиви i	i	int	{1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8}
Массиви t_i	t_i	double	{3; 4; 2; 1; 6; 2; 3; 7}
Массиви pen_i	pen_i	double	{2; 3; 1; 4; 3; 5; 1; 6}
Массиви tw_i	tw_i	double	Дар рафти кори барнома ҳисоб мешавад
Массиви pen_i2	pen_i t_i	double	Дар рафти кори барнома ҳисоб мешавад

Дар зер қитъаҳои асосии барномаи компютерӣ оварда шудаанд:

//Эълон намудани бузургҳои барномавӣ

```
int n = 8; //Миқдори дархостҳо
int [] i = new int[n];
double[] ti = new double[] {3,4,2,1,6,2,3,7 };
double[] peni = new double[] {2,3,1,4,3,5,1,6};
double[] twi = new double[n];
double[] peni2 = new double[n];
```

//Ҳисоб намудани суммаи вақтҳои интизории дархостҳои дигар ва дархости додашуда

```
int k=0; //Қимати аввалаи давр
twi[0]=0; //Қимати аввалаи twi
while(k<n) // Шарт иҷрои давр
{
    i[k] = k + 1; // Бахшидани рақами тартибии дархост ба массиви i
    int k1=0; // Қимати аввали зердавр
    double stime = 0; //Қимати аввалаи вақти интизорӣ
    if (k > 0) //Шарти иҷро
    {
        while (k1 <= k) // Шарт иҷрои давр
        {
```



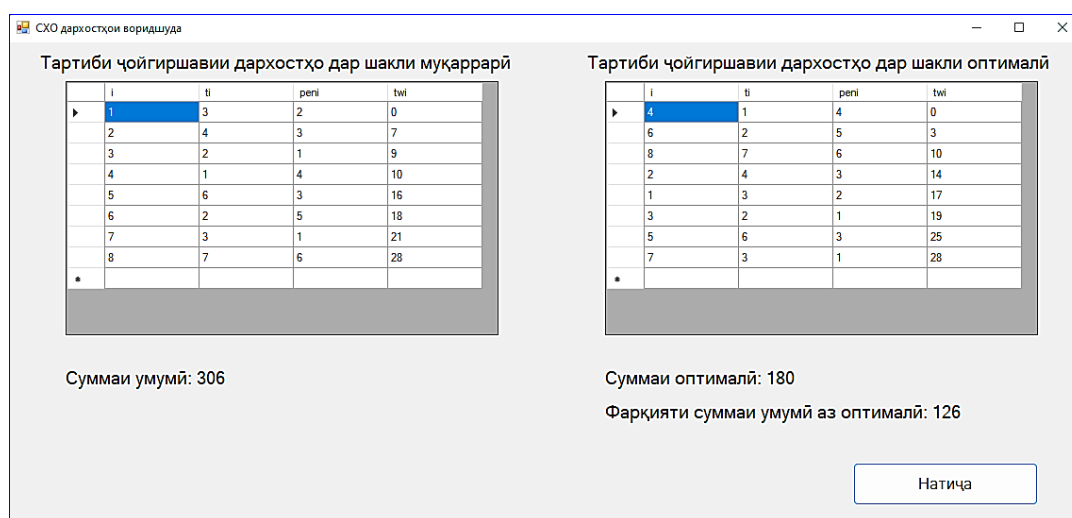
```

        stime += ti[k1]; //Илова намудани қимати вақтҳои интизорӣ
        k1++; //Қадами давр
    }
}
twi[k] = stime; //Бахшидани суммаи вақтҳои интизории дархостҳои дигар ва
дархости додашуда ба чузъҳои мувофиқи массив
peni2[k] = peni[k] / ti[k]; //Ҳисобкунии ҷаримаи нисбӣ барои сари вақт коркард
нагаштани дархости i
k++; ///Қадами давр
}
//Бо тартиби камшавӣ ҷойгиркунии қимати ҷаримаҳои нисбии дархостҳо
double temp; //Эълони номи тағйирбанда барои муваққатан нигоҳ доштани
қимати массив
k=0; //Қимати аввалаи давр
while(k<n-1) //Шарти давр
{ int k1 =k+1; //Қимати аввалаи даври дохилӣ
  while(k1<n) //Шарти даври дохилӣ
  {
    if(peni2[k]<peni2[k1]) //Шарт барои муайянкунии тартиби ҷойгиршавии
чузъҳои массив
    {
      temp = peni2[k]; //Бахшидани қимати навбатии массив ба
тағйирёбандаи муваққатӣ
      peni2[k] = peni2[k1]; //Бахшидани қимати чузъи k1-ум ба массив
      peni2[k1] = temp; //Бахшидани қимати тағйирёбандаи муваққатӣ ба
массив
    }
    k1++; //Қадами давр
  }
  k++; //Қадами давр
}
//Суммаи умумии ҷаримаҳо
k=2; //Қимати аввалаи давр
double sa = peni[1] * ti[0]; //Қимати аввалаи суммаи ҷаримаҳои дархостҳо
while (k < n) //Оғози давр
{
  sa += peni[k] * twi[k-1]; //Ҳисобкунии суммаи ҷаримаҳои дархостҳо
  k++; //Қадами давр
}
//Суммаи умумии оптималии ҷаримаҳо
k=2; //Қимати аввалаи давр
double sa0 = peni[1] * ti[0]; //Қимати аввалаи суммаи ҷаримаҳои дархостҳои
оптималӣ
while (k < n) //Оғози давр
{
  sa0 += peni[k] * twi[k-1]; //Ҳисобкунии суммаи ҷаримаҳои дархостҳои
оптималӣ
  k++; //Қадами давр
}
Натиҷаҳои барномавии ҳосилшуда дар расми 3 инъикос ёфтаанд.

```

Расми 3. Натиҷаи кори барномаи компютерӣ

Figure 3. Results of computer program



Тавре натиҷаҳои компютери ҳисобшуда гувоҳӣ медиҳанд, онҳо ҳамин гуна натиҷаҳои бо тарзи дастӣ ҳисобшударо комилан такрор менамоянд: суммаи ҷаримаҳои умумии сари вақт коркард нагаштани дархостҳо – 306, суммаи ҷаримаҳои оптималии сари вақт коркард нагаштани дархостҳо – 180, фарқи байни суммаҳои мазкур – 180 (воҳиди шартӣ).

Ҳамин тариқ, дурустии усули кор карда баромадашуда тасдиқи худро дар муқоисаи натиҷаҳои барномавии тавассути компютер бадастомада ва натиҷаҳои бо тарзи дастӣ ҳисобшуда пурра ёфт.

Хулосаҳои ҷамъбасти:

1. Таҳлилҳо собит сохтаанд, ки ҳоло дар баробари масъалаи идоракунии ва худкорсозии фаъолияти корхонаҳо, ки дар заминаи истифодаи васеи ТИК ба роҳ монда шудаанд, масъалаи дар сатҳи зарурӣ ба роҳ мондани хизматрасониҳои оммавии шабакавӣ ба яке аз масъалаҳои мубрам табдил ёфтааст.

2. Бо истифода аз усули барномасозии компютерӣ масъалаи истифодаи системаи хизматрасонии оммавӣ дар қабул ва коркарди дархостҳои онлайнӣ мавриди омӯзиш ва таҳқиқ қарор дода шудааст, ки раванди коркарди дархостҳои бешумори муштариёни шабакаҳои гуногуни иттилоотиро ба таври худкор ба танзим меорад. Системаи хизматрасонии оммавӣ бояд дархостҳоро тавре қабул ва коркард намояд, ки ҷаримаи вақти интизории коркарди онҳо камтарин бошад.

3. Барои ёфтани тартиби оптималии коркарди дархостҳои онлайнӣ воридотӣ аз усули ҷойивазкунии рақами дархостҳо ва барои визуализатсияи маълумоти ҷадвалӣ оид ба вақти интизории коркарди пайдарпайии дархостҳои мазкур аз графикаи Гант истифода шудааст.

4. Дурустии усули таҳияшуда тасдиқи худро дар муқоисаи натиҷаҳои барномавии тавассути компютер ҳисобшудаи фарқи байни суммаи ҷаримаҳои умумӣ ва оптималии сари вақт коркард нагаштани дархостҳои онлайнӣ ва ҳамин гуна натиҷаҳои бо тарзи дастӣ бадастомадаи ин дархостҳо пурра ёфтааст.

АДАБИЁТ

1. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы методология. Учебное пособие / Е.С. Вентцель. – М.: КноРус, 2010. – 192 с.
2. Воинов, А.А. Имитационная модель Кайракумского водохранилища / А.А. Воинов, Ф.С. Комилов. – М.: ВЦ АН СССР, «Сообщения по прикладной математике», 1986. – 40 с. – EDN: WECFZI.

3. Емельянов, А.А. Модели процессов массового обслуживания / А.А. Емельянов. – [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-protssesov-massovogo-obsluzhivaniya> (Дата обращения: 28.03.2023).
4. Ёров, М.Р. Алгоритми пайвандсозии вебсафҳаҳои маҳаллӣ ба сохтори барномавию объектгарои ПД сомонаи ҚОА / М.Р. Ёров // Паёми политехникӣ. Баҳши интеллект, иноватсия, инвеститсия. – 2020. – № 2 (50). – С. 15-20.
5. Ёров, М.Р. Амсиласозии компютери системаи хизматрасонии Комиссияи олии аттестатсионӣ: дисс... номз. илмҳои техникӣ / М.Р. Ёров. – Душанбе, 2020. – 135 с. – EDN: TJYYRS.
6. Ёров, М.Р. Технологияи корбарӣ бо системаи барномавӣ-иттилоотии пойгоҳи додаҳои ҚОА / М.Р. Ёров, Ф.С. Комилов, М.М. Абдурахмонов // Паёми Паҷуҳишгоҳи рушди маориф. – 2020. – № 1 (29). – С. 176-184. – EDN: AGQHYK.
7. Каршибоев, Х.К. Математическая интерпретация массового обслуживания [Электронный ресурс] / Х.К. Каршибоев. – Источник доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-interpretatsiya-massovogo-obsluzhivaniya> (Дата обращения: 16.02.2023).
8. Комилиён, Ф.С. Амсиласозии компютери системаи хизматрасонии шабакавии дар вақти дискретӣ бо тартиби инверсионӣ ва афзалияти тасодуфӣ амалкунандаи ПД ҚОА / Ф. С. Комилиён, М.Р. Ёров // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2020. – № 2. – Р. 68-79. – DOI 10.51884/2413-452X_2020_3_172.
9. Комилиён, Ф.С. Баҳисобгирии амнияти иттилоотии шабакавӣ дар таҳияи пойгоҳи додаҳо / Ф.С. Комилиён, М.Р. Ёров // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. Баҳши илмҳои гуманитарӣ ва иқтисодӣ. – 2019. – № 1-4 (68). – С. 199-204. – EDN: EYDSDW.
10. Комилиён, Ф.С. Забонҳои барномарезӣ / Ф.С. Комилиён, З.Ф. Раҳмонзода. – Душанбе: Маориф, 2015. – 144 с. – EDN FHUNXG.
11. Комилиён, Ф.С. Компютер ва иттилоот / Ф.С. Комилиён, З.Ф. Раҳмонзода. – Душанбе: Маориф, 2015. – 136 с. – EDN SWCBHW.
12. Комилиён, Ф.С. Технологияҳои тарҳрезии системаҳои иттилоотӣ / Ф.С. Комилиён, З.Ф. Раҳмонзода. – Душанбе: Маориф, 2016. – 135 с. – ISBN 978-99975-852-9-5. – EDN NWUOQO.
13. Комилиён, Ф.С. Шабакаҳои компютерӣ ва сомонасозӣ / Ф.С. Комилиён, З.Ф. Раҳмонзода. – Душанбе: Маориф, 2016. – 208 с. – ISBN 978-99975-853-0-0. – EDN KVZAIR.
14. Комилов, Ф.С. Амсилаи дастраси умум ба пойгоҳи додаҳои ҚОА дар заминаи таъминоти барномавии стандартӣ / Ф.С. Комилов, М.Р. Ёров // Паёми политехникӣ. Баҳши интеллект, иноватсия, инвеститсия. – 2019. – № 1 (45). – С. 30-36. – EDN: UQJLNI.
15. Комилов, Ф.С. Имитационное моделирование динамики экосистем водохранилищ / Ф.С. Комилов. – Душанбе: Амри илм, 1996. – 142 с. – EDN: XFXPZH.
16. Комилов, Ф.С. Информационный подход к обучению студентов среднего профессионального медицинского образования Республики Таджикистан / Ф.С. Комилов, Б.Ф. Раджабов // Вестник Таджикского национального университета. – 2015. – № 3-7. – С. 282-288. – EDN: UHJCSN.
17. Комилов, Ф.С. Концептуальная модель экосистемы пруда с тремя видами рыб / Ф.С. Комилов, И.Л. Косимов // Известия ВУЗов (Кыргызстан). – 2015. – № 7. – С. 6-9. – EDN: VKAQKR.
18. Комилов, Ф.С. Математическое моделирование экосистем водохранилищ / Ф.С. Комилов, В.П. Пархоменко. – М.: ВЦ РАН, «Сообщение по прикладной математике», 2003. – 46 с. – EDN: QKMEUH.
19. Комилов, Ф.С. О технологии концептуального моделирования экосистемы рыбоводного пруда с двумя видами рыб / Ф.С. Комилов, С.Х. Мирзоев, И.М. Саидов // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2016. – № 5. – С. 37-39. – EDN: WDFGXZ.
20. Тушавин, В.А. Применение теории массового обслуживания для анализа времени разрешения инцидентов [Электронный ресурс] / В.А. Тушавин. – Источник доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-dannyh-infografika-kak-instrument-marketinga> (Дата обращения: 25.02.2023).

REFERENCES

1. Wentzel, E.S. Operations research: tasks, principles, methodology. Textbook / E.S. Wentzel. – М.: KnoRus, 2010. – 192 p.
2. Voinov, A.A. Simulation model of the Kairakkum reservoir / A.A. Voinov, F.S. Komilov. – М.: Computing Center of the Academy of Sciences of the USSR, "Communications on Applied Mathematics", 1986. – 40 p.
3. Emelyanov, A.A. Models of queuing processes / A.A. Emelyanov. – [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-protssesov-massovogo-obsluzhivaniya> (Date of access: 03/28/2023).

4. Yorov, M.R. Algorithm of connecting local web pages to the programmatic and object-oriented structure of the KOA website / M.R. Yorov // Polytechnic Message. Department of intelligence, innovation, investment. – 2020. – No. 2 (50). – Pp. 15-20.
5. Yorov, M.R. Computer modeling of the information and service system of the Higher Attestation Commission: diss... nomz. technical sciences / M.R. Yorov. – Dushanbe, 2020. – 135 p. – EDN: TJYYRS.
6. Yorov, M.R. The technology of using the program-informational system of the KOA database / M.R. Yorov, F.S. Komilov, M.M. Abdurakhmonov // Message of the Education Development Research Institute. – 2020. – No. 1 (29). – Pp. 176-184. – EDN: AGQHYK.
7. Karshiboev, H.K. Mathematical interpretation of queuing [Electronic resource] / Kh.K. Karshiboev. – Access source: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-interpretatsiya-massovogo-obsluzhivaniya> (Date of access: 02/16/2023).
8. Komiliyan, F.S. Computer simulation of network service system in discrete time with inversion procedure and random priority acting PD KOA / F.S. Komiliyan, M.R. Yorov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2020. – No. 2. – Pp. 68-79. – DOI 10.51884/2413-452X_2020_3_172.
9. Komiliyan, F.S. Calculation of network information security in database development / F.S. Komiliyan, M.R. Yorov // Message from the Bakhtar State University named after Nasir Khusrav. Department of humanities and economics. – 2019. – No. 1-4 (68). – Pp. 199-204. – EDN: EVYDSW.
10. Komiliyan, F.S. Programming languages / F.S. Komiliyan, Z.F. Rahmonzoda. – Dushanbe: Education, 2015. – 144 p. – EDN FHUNXG.
11. Komiliyan, F.S. Computer and information / F.S. Komiliyan, Z.F. Rahmonzoda. – Dushanbe: Education, 2015. – 136 p. – EDN SWCBHW.
12. Komiliyan, F.S. Design technologies of information systems / F.S. Komiliyan, Z.F. Rahmonzoda. – Dushanbe: Education, 2016. – 135 p. – ISBN 978-99975-852-9-5. – EDN NWUOQO.
13. Komiliyan, F.S. Computer networks and website development / F.S. Komiliyan, Z.F. Rahmonzoda. – Dushanbe: Education, 2016. – 208 p. – ISBN 978-99975-853-0-0. – EDN KVZAIR.
14. Komilov, F.S. A publicly available version of the KOA database on the basis of standard software / F.S. Komilov, M.R. Yorov // Polytechnic Message. Department of intelligence, innovation, investment. – 2019. – No. 1 (45). – Pp. 30-36. – EDN: UQJLNI.
15. Komilov, F.S. Simulation modeling of the dynamics of reservoir ecosystems / F.S. Komilov. – Dushanbe: Amri IIm, 1996. – 142 p. – EDN: XFXPZH.
16. Komilov, F.S. Information approach to teaching students of secondary vocational medical education of the Republic of Tajikistan / F.S. Komilov, B.F. Radjabov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2015. – No. 3-7. – Pp. 282-288. – EDN: UHJCSN.
17. Komilov, F.S. Conceptual model of the ecosystem of a pond with three types of fish / F.S. Komilov, I.L. Kosimov // News of universities (Kyrgyzstan). – 2015. – No. 7. – Pp. 6-9. – EDN: VKAQKR.
18. Komilov, F.S. Mathematical modeling of reservoir ecosystems / F.S. Komilov, V.P. Parkhomenko. – M.: CC RAS, "Communication on Applied Mathematics", 2003. – 46 p. – EDN: QKMEUH.
19. Komilov, F.S. On the technology of conceptual modeling of the ecosystem of a fish pond with two species of fish / F.S. Komilov, S.Kh. Mirzoev, I.M. Saidov // Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan. – 2016. – No. 5. – Pp. 37-39. – EDN: WDFGXZ.
20. Tushavin, V.A. Application of the queuing theory for the analysis of incident resolution time [Electronic resource] / V.A. Tushavin. – Access source: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-dannyh-infografika-kak-instrument-marketinga> (Date of access: 02/25/2023).

ТАТБИҚИ СИСТЕМАИ ХИЗМАТРАСОНИИ ОММАВӢ ДАР КОРКАРДИ ДАРХОСТҲОИ ОНЛАЙНӢ

Дар мақола бо истифода аз усули барномасозии компютерӣ масъалаи истифодаи системаи хизматрасонии оммавӣ дар қабул ва коркарди дархостҳои онлайнӣ мавриди омӯзиш ва таҳқиқ қарор дода шудааст, ки раванди коркарди дархостҳои бешумори муштариёни шабакаҳои гуногуни иттилоотиро ба таври худкор ба танзим меорад. Системаи хизматрасонии оммавӣ бояд дархостҳоро тавре қабул ва коркард намояд, ки чаримаи вақти интизории коркарди онҳо камтарин бошад. Барои ёфтани тартиби оптималии коркарди дархостҳои онлайнӣ воридотӣ аз усули ҷойивазкунии рақами дархостҳо ва барои визуализатсияи маълумоти чадвалӣ оид ба вақти интизории коркарди пайдарпайии дархостҳои мазкур аз графикаи Гант истифода шудааст. Дурустии усули таҳияшуда тасдиқи худро дар муқоисаи натиҷаҳои барномавии тавассути компютер ҳисобшудаи фарқи байни суммаи чаримаҳои умумӣ ва оптималии сари вақт коркард нагаштани дархостҳои онлайнӣ ва ҳамин гуна натиҷаҳои бо тарзи дастӣ бадастомадаи ин дархостҳо пурра ёфтааст.

Калидвожаҳо: маълумот, хизматрасонӣ, дархост, нобаробарӣ, формула, барнома, амсила, система, нишондиханда, массив.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОНЛАЙН-ЗАЯВОК

В статье методом компьютерного программирования изучается и исследуется вопрос использования системы массового обслуживания при приеме и обработке онлайн-заявок, которая автоматически регулирует процесс обработки бесчисленных запросов от клиентов различных информационных сетей. Система массового обслуживания должна получать и обрабатывать запросы таким образом, чтобы штраф за время ожидания их обработки был наименьшим. Для нахождения оптимального порядка обработки поступающих онлайн-заявок использовался метод смещения номера заявок, а для визуализации табличных данных о времени ожидания обработки последовательности этих заявок использовалась диаграмма Ганта. Корректность разработанного метода была подтверждена сравнением результатов компьютерно-расчетной программы разницы между суммой общих и оптимальной штрафов за несвоевременностью обработки онлайн-заявок и такими же результатами, полученными вручную.

Ключевые слова: данные, сервис, запрос, неравенство, формула, программа, модель, система, индикатор, массив.

INTRODUCTION OF THE QUEUE SERVICE SYSTEM IN PROCESSING ONLINE APPLICATIONS

The article uses computer programming to study and investigate the use of a queuing system for receiving and processing online applications, which automatically regulates the process of processing countless requests from clients of various information networks. The queuing system should receive and process requests in such a way that the penalty for waiting for their processing is the smallest. To find the optimal order for processing incoming online requests, the method of shifting the number of requests was used, and a Gantt chart was used to visualize tabular data on the waiting time for processing a sequence of these requests. The correctness of the developed method was confirmed by comparing the results of the computer-calculating program of the difference between the sum of the total and optimal fines for late processing of online applications and the same results obtained manually.

Keywords: data, service, request, inequality, formula, program, model, system, indicator, array.

Маълумот оид ба муаллифон: Ёров Меҳрдод Раҳматуллоевич – номзоди илмҳои техники, муаллими калони кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 933-05-50-03. **E-mail:** yorov.mehrdod@gmail.com.

Комилиён Файзали Саъдулло – доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 988-68-50-14. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

Сведения об авторах: Ёров Меҳрдод Раҳматуллоевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информатики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 933-05-50-03. **E-mail:** yorov.mehrdod@gmail.com.

Комилиён Файзали Саъдулло – д.ф.-м.н., профессор кафедры информатики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 988-68-50-14. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

Information about the authors: Yorov Mehrdod Rahmatulloevich – candidate of technical sciences, senior lecturer of the Informatics Department of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 933-05-50-03. **E-mail:** yorov.mehrdod@gmail.com.

Komiliyon Fayzali Sa'dullo – Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor of the Informatics Department of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 988-68-50-14. **E-mail:** komfaiz@mail.ru.

МОДЕЛИ МАТЕМАТИКИ ШИКОР БАРОИ ҚИМАТҲОИ ГУНОГУНИ КВОТАИ МУҚАРРАШУДА

Одиназода С.А., Раҳмон П.Қ., Ғаниев Ч.Т.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон,
Донишгоҳи технологии Тоҷикистон,
Донишкадаи тарбияи ҷисмонии Тоҷикистон ба номи С. Раҳимов

Муқаддима. Солҳои охир хоҷагиҳои шикории мамлакати мо дар бобати истифода бурдани элементҳои алоҳида барои гузарондани равандҳои шикор таҷрибаи амалии муайян ҷамъоварӣ намудаанд. Дар бисёр хоҷагиҳои мамнуъгоҳи Хуталон ва якҷанд хоҷагиҳои Тоҷикистон олимони кор карда баромадани элементҳои алоҳидаи оптимизатсияи раванди шикор шуруъ карда, дар амал татбиқ намудаанд. Ин равишҳо камбудии ҷиддиро ба бор оварда метавонанд, зеро ки баъзе онҳо аз ҷиҳати илмӣ-риёзӣ беасосанд, дар натиҷа ба баъзе нофаҳмовиву норасоӣ дар масъалаҳои экологӣ оварда мерасонад. Раванди оптимизатсия ин иштибоҳотро бартараф мекунад, гарчанде он метавонад танҳо дар ҳолатҳои хеле кам, яъне дар баъзе фосолаҳои хурди нишондиҳандаҳои модели мувофиқи биосистема самаранок бошад, лекин биосистемаро муътадил карда наметавонад.

Таҳлили омилҳои маҳдудкунанда ва механизмҳои таъсиррасонии онҳо яке аз постулатҳои асосии таҳияи барномаи самарабахши ба эътидол овардани системаҳои экологӣ мебошад.

Барои системаҳои конкретии биологӣ ва экологӣ, инчунин, хусусиятҳои иҷтимоӣ-иқтисодии минтақаҳои мушаххас равишҳои анъанавӣ кор карда барои мадда, усулҳои нав ба кор бурда шуданд [1-6].

Яке аз воситаҳои асосӣ дар ҳолатҳои пешгӯии ҳолати системаҳои биологӣ ва идоракунии онҳо дар асоси меъёрҳои экологӣ, иқтисодӣ ва иҷтимоӣ моделсозии математикӣ мебошад ва ин тадқиқотҳо гузаронида дар қорҳои олимони тоҷик инъикос шудаанд [7-12].

Мақсади тадқиқоти мо қорӣ намудани нишондиҳандаи шикор бо шиддати доимии s (қвотаи шикори собит дар як воҳиди вақт) мебошад.

Ғузориши масъала. Қонуни экспоненсиалии афзоиши популятсия барои $r > 0$ тахмин мекунад, ки популятсияи ҷудошуда дар шароити захираҳои номаҳдуд вучуд дорад.

Дар табиат чунин шароит хеле кам аст. Афзуншавии намудҳои мисол шуда метавонанд, ки дар қойҳои қорӣ ғизои кам ва мавҷудияти намудҳои рақобаткунанда ва ҳайвоноти дарранда қойгир карда шудаанд.

Азбаски популятсияҳо то беохирӣ афзуншаванда нестанд, бояд омилҳои вучуд дошта бошанд, ки ба афзоиши шумораи номаҳдуди онҳо ҳалал расонда тавонанд.

Дар байни ин омилҳо метавонад нарасидани захираҳо (ғизо), боиси рақобати дохилии популятсия барои ғизо, рақобат бо намудҳои дигар, ҳамлаи дарранда ва ғ. бошанд.

Дар натиҷа, суст шудани суръати афзоиши популятсия ва ба сатҳи статсионарӣ баромадани шумораи он мебошад.

Дар мақола мо моделҳои классикӣ афзоиши маҳдуди популятсияро дида мебароем.

Моделҳои логистикӣ дар экология модели анъанавӣ ба шумор меравад. Масалан, x метавонад шумораи намуди муайяни ҳайвонотро дар баъзе системаҳои экологӣ нишон диҳад.

Таҳлили шикорро бо шиддати доимӣ (бо квотаи муқарраршудаи шикор дар як воҳиди вақт) ба андозаи ин популятсия чӣ гуна таъсир мерасонад, дида мебароем:

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K} \right) - c. \quad (1)$$

Аз ин ҷо айён аст, ки модели Ферхюлст як ҳолати махсуси модели шикорӣ барои $c=0$ мебошад [12].

Барои қиматҳои хурди параметри $c>0$, параболаи тарафи рости муодила каме ба поён ҳаракат мекунад ва дар он ду ҳалли статсионарии модели шикор нигоҳ дошта мешавад.

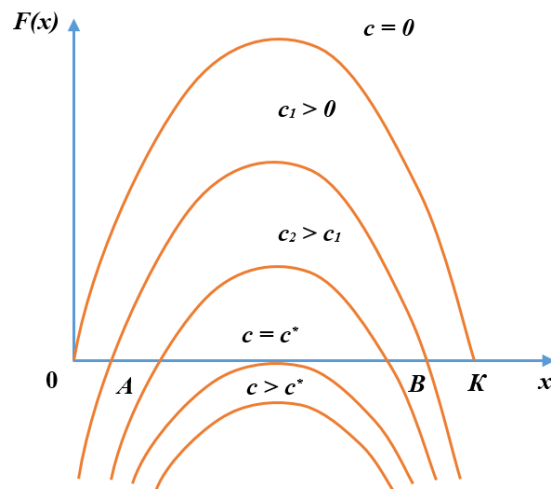
$$x(t) = K \cdot \frac{x_0}{1 + \left(\frac{K}{x_0} - 1 \right) \cdot e^{-rt}}. \quad (2)$$

ки нисбат ба модели Ферхюлст ба нуқтаҳои $A>0$ ва $B<K$ мегузаранд. (Расми1.).

Расми 1. Қиматҳои статсионарии модели Ферхюлст бо таъсири шикор барои қиматҳои гуногуни квотаи шикор c

Рисунок 1. Стационарные значения модели Ферхюльста с эффектом охоты при разных значениях квоты охоты c

Figure 1. Stationary values of the Verhulst model with the hunting effect for different values of the hunting quota c

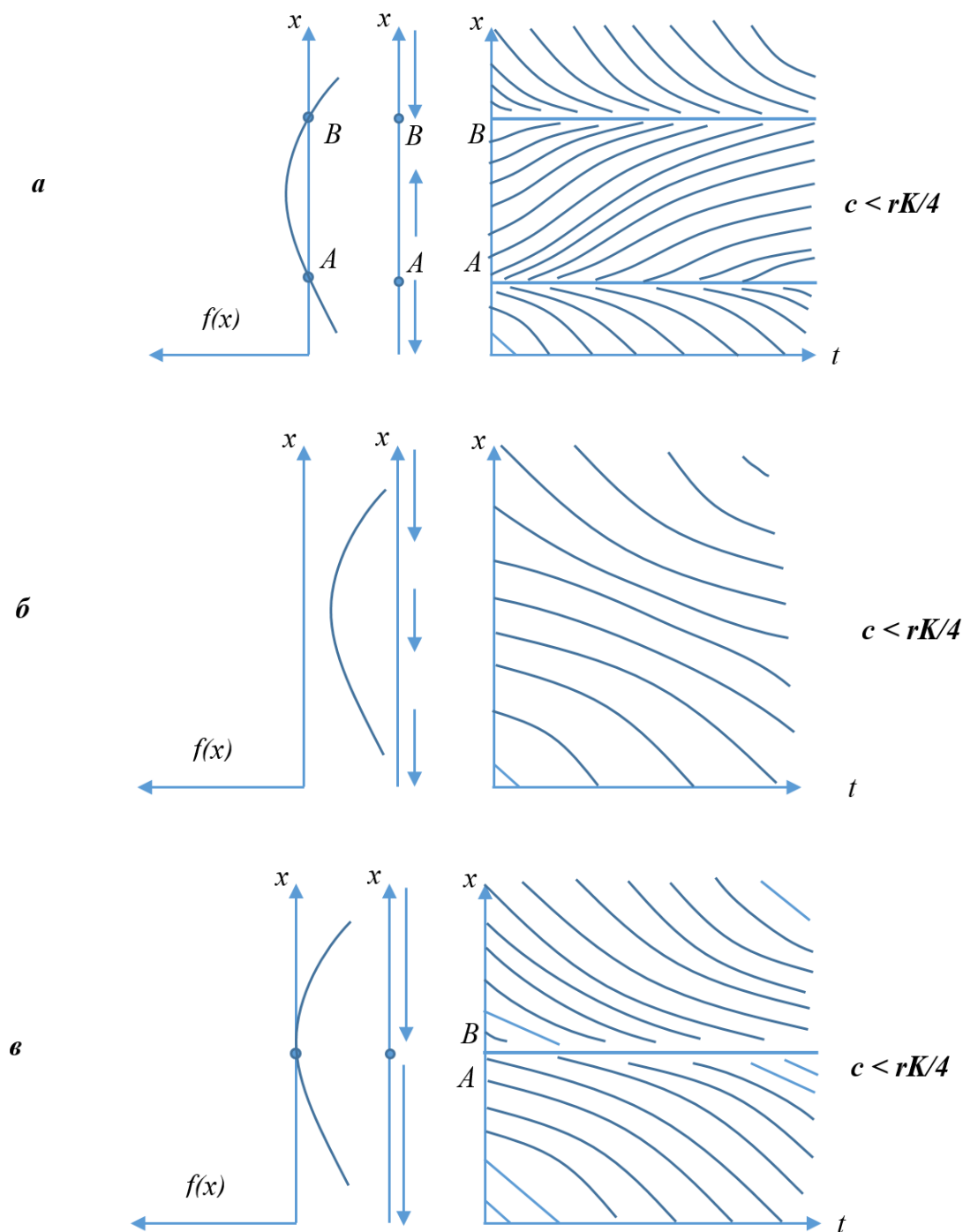


Дар ин ҳолат, ҳангоми таҳлили рафтори функсия, ба осонӣ дидан мумкин аст, ки намуди нуқтаҳои ором нигоҳ дошта мешаванд: $A>0$ - нуқтаи оромии ноустувор, $B<K$ устувор аст.

Расми 2. Рафтори модели шикор барои қиматҳои гуногуни параметри c

Рисунок 2. Поведение модели охоты при различных значениях параметра c

Figure 2. The behavior of the hunting model for different values of the parameter c



Дар ин чо ба фарқияти муҳими байни модели шикор барои $c > 0$ ва модели Ферхюлст ($c = 0$) бояд диққати ҷиддӣ диҳем. Дар модели Ферхюлст барои дилхоҳ қимати ғайрисифр (ҳатто хеле хурд)-и қимати ибтидоии шумораи популятсияи ($x_0 > 0$) афзоиши он то дараҷаи сершавии K мушоҳида мешавад. Илова кардани шикор боиси пайдо шудани дараҷаи ғайрисифрии критикии шумораи популятсия $A > 0$ мегардад, ки ҳангоми ба поён афтодан ($x_0 < A$) шумораи популятсия бо мурури замон кам шуда, дар вақти маҳдуди T ба сифр мерасад (яъне $(T) = 0$ ва популятсия мемирад, Расми 2, а).

Дар қиматҳои ибтидоии болотар аз сатҳи критикӣ ($x_0 > A$), модели шикор ҳалли шабеҳи модели Ферхюлстро медиҳад, танҳо қимати статсионарии шумора нисбат ба вазъият дар сурати набудани шикор каме коҳиш меёбад (расми 2, а).

Ҳамин тасвири сифатӣ бо афзоиши параметри шикор c нигоҳ дошта мешавад (ниг. расми 1). Дар ин ҳолат, қиматҳои статсионарӣ $A > 0$ ва $B < K$ ба ҳамдигар наздик мешаванд.

Мумкин аст, ки дар баъзе қимати критикии квотаи шикор c^* ду нуқтаи оромии $A > 0$ ва $B < K$ ба як муттаҳид шуда, бо қуллаи параболаи $x = K/2$ рост меоянд (ниг. Расми 2, в).

Аз ин ҷо қимати c^* -ро ёфтани он қадар душвор аст:

$$c^* = r \frac{K}{2} \left(1 - \frac{K/2}{K}\right) = \frac{1}{4} rK. \quad (3)$$

Ба ибораи дигар гуем, ҳангоми қимати критикии параметри шикор c^* фазаи афзоиши шумораи аҳоли аз байн меравад. Ё ҳангоми $x_0 < K/2$ намудҳо дар як муддати ниҳой нобуд мешаванд, ё дар $x_0 > K/2$ шумора тадричан ба сатҳи статсионарии $\bar{x} = K/2$ кам мешавад (расми 2.). Ба ибораи дигар, рафтори сифатии ҳалли имконпазири модели $c = c^*$ барои $0 < c < c^*$ аз онҳо ба қуллӣ фарқ мекунад.

Ҳангоми гузаштан аз ҳадди критикии шикор дар $c > c^*$ сурат боз ба таври қуллӣ тағир меёбад. Нуқтаи оромии система аз байн меравад ва азбаски $f(x) < 0$ барои ҳаргуна $x > 0$, шумораи намудҳо дар як вақти ниҳой барои ҳар шумраи ибтидоии x_0 то сифр кам мешавад (расми 2.).

Таҳлили модели шикор нишон медиҳад, ки интихоби қимати параметри шикор c параметри ниҳоят муҳим барои идоракунии миқдори шумораи популятсияи x мебошад. Аз як тараф, кӯшиши ба афзоиши даромад мутаносибан ба квотаи амалиётӣ c , аз дараҷаи критикии квота c^* гузаштан мумкин нест, ки берун аз он нуқтаи бозгашти система меояд ва попултсия то нобудшавии пурра мунтазам хоҳиш меёбад.

Аз тарафи дигар, чӣ тавре, ки дар боло нишон додем, даромади максималӣ аз шикор маҳз дар $c = c^*$ ба даст меояд, ки ин боиси аз даст додани устувории мавқеи мувозинати система ҳангоми гузаштан аз сатҳи критикии шумораи популятсия ва имконияти тамоман нест шудани намуд мегардад.

Ҳамин тариқ, мо мебинем, ки рафтори система дар қимати критикии параметри $c = c^*$ аз рафтори он дар дигар қиматҳои параметр, ё дар $0 < c < c^*$ ё дар $c > c^*$ хеле фарқ мекунад.

Агар маҷмӯи моделҳоро бо назардошти вобастагии возеҳ аз параметри c дар шакли зайл нависем

$$\frac{dx}{dt} = f(x, c), \quad (4)$$

онгоҳ мегӯянд, ки, ҳангоми $c \neq c^*$ модели ноҳамвор ё сохтори устувор аст, зеро тағйироти хурд дар параметр ба тағйирёбии назарраси сохтори сифатии портрети фазавии система оварда намерасонад, яъне шумора ва навъи нуқтаҳои оромӣ, навъи траекторияҳои фаза ва ғайраро тағйир намедиҳад. Дар ҳолати $c = c^*$ модел ноҳамвор ё сохтори ноустувор нест, зеро тағйироти хурд дар параметр (кам ё зиёд шудани он) сохтори сифатии ҳалли онро вайрон мекунад.

Дар ҳолати мо ҳангоми гузаштан аз қимати критикии параметри c^* шумораи нуқтаҳои ором тағйир меёбад ё шумораи онҳо ду баробар зиёд мешавад ё аз байн меравад. Чунин қимати параметрро бифуркатсия ва навъи ин бифуркатсияро бифуркатсияи қатъшуда меноманд.

Тавачҷух ба он медиҳем, ки барои ҳама қиматҳои параметри $0 < c \neq c^*$ ҳосилаи тарафи рости $f(x)$ дар нуқтаҳои оромии \bar{x} (агар мавҷуд бошад) ғайрисифр ($f'(\bar{x}) \neq 0$) аст, яъне инҳо нуқтаҳои оромии муқаррарӣ мебошанд.

Хусусияти $c=c^*$ аз он иборат аст, ки дар ин қимати параметр нуқтаҳои оромии номунтазам пайдо мешаванд, ки барои онҳо $f'(\bar{x}) = 0$ мебошад (расми 2.).

Аз як тараф, системаи биологӣ, чун қоида, бояд моликияти устувори сохториро дошта бошад, яъне он бояд дар чунин як қатор параметрҳо қор кунад, ки тағирёбии хурди онҳо ба тағироти назарраси рафтор ва ҳолати система оварда нарасонад. Аз тарафи дигар, донишмандони қиматҳои бифуркатсияи параметрҳои система зарур аст, ки дар наздикии онҳо он метавонад ба осонӣ аз як ҳолати устувори сохторӣ ба ҳолати моҳиятан дигари устувор интиқол дода шавад.

Ба як ҷанбаи муҳими дигари интихоби модели квотаи шикор диққат медиҳем [12].

Таҳлили хусусиятҳои модел бо квотаи доимӣ ба мо имкон медиҳад, ки усули оптималии созишро барои идоракунии шикор пешниҳод кунем, ки устувори нуқтаи оромии системаро нигоҳ медорад. Ба ибораи дигар, тасмим дар бораи ҳаҷми истисмор (квотаи шикор) набояд ба таври мустақим ($c=const$), балки вобаста ба системаи бадастомада, масалан, ба таври зерин қабул карда шавад: $c=kx$, ки дар он параметри k («квотаи дифференциалӣ») интихоб карда мешавад.

Дар ин ҷо модел намуди зеринро мегирад (расми 3):

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) - kx \quad (5)$$

Дар ин ҳолат, барои ҳамаи қиматҳои ибтидоии шумораи популятсия бо мурури замон ҳолати статсионарии B муқаррар карда мешавад (нуқтаи буриши параболаи $y = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right)$ ва хати рости $y = kx$), ки устувор аст (расми 3).

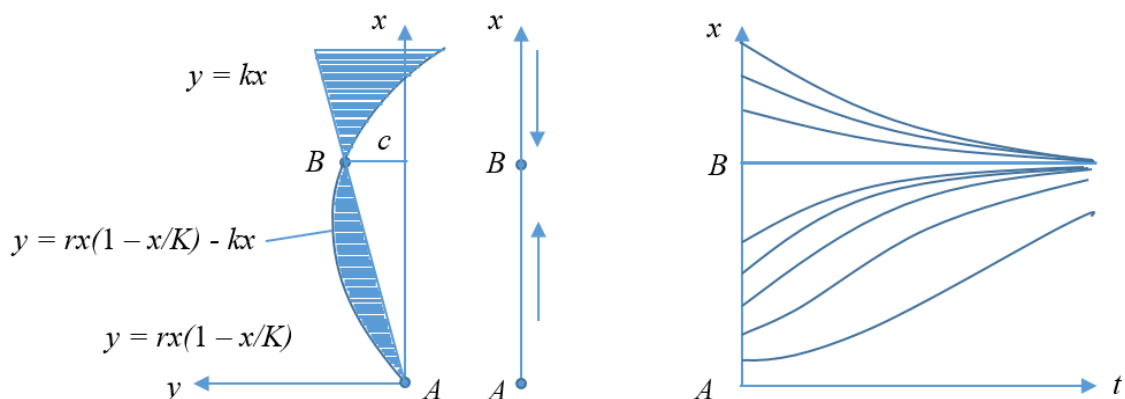
Даромади миёна аз шикор, мутаносибан ба бузургии $c = kx$, вақте ки хатти $y = kx$ аз қуллаи параболаи $y = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right)$ мегузарад, ҳангоми $k^* = 1/2 \cdot r$ бузургтарин хоҳад буд.

Ҷолиби диққат аст, ки дар як сатҳи даромади оптималии $c^* = k^* \cdot \bar{x} = 1/4 \cdot rK$, системаи робитаи аксуламал бар хилофи системаи шикори ба нақша гирифташуда, дар қимати оптималии коэффисиенти k^* устувор аст, то ки камшавии тасодуфии хурди шумораи популятсия нисбат ба муодилаи статсионарии $\bar{x} = K/2$ боиси кам шудани шикор ва барқароркунии автоматии сатҳи статсионарӣ бо қувваҳои худ система мегардад.

Расми 3. Банақшагирии системаи робитаи аксуламал дар модели шикор

Рисунок 3. Планирование обратной связи в модели охоты

Figure 3. Feedback planning in the hunting model



Илова бар ин, каме дуршавии коэффисиенти k аз қимати оптималӣ боиси худ аз худ нобудшавии система намегардад, чунон ки дар сурати каме зиёд шудани нақшаи оптималии саҳт c^* , балки танҳо ба каме кам шудани "даромад" оварда мерасонад.

Мисол. Системаи экологии Хуталонро дида мебароем, ки аз се сатҳи трофикӣ иборат аст: растаӣ, ҳайвоноти алафхӯр ва ҳайвоноти дарранда, ки ба он захираи беруна бо суръати Q ворид мешавад.

Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки муодилаҳое, ки динамикаи биомассаи се сатҳи трофикиро дар ҳолати Волтерра тавсиф мекунанд, ки чунин намуд доранд [13-15]:

$$\begin{cases} \dot{N}_0 = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \dot{N}_1 = N_1(-m_1 + k_0 \alpha_0 N_0 - \alpha_1 N_2), \\ \dot{N}_2 = N_2(-m_2 + k_1 \alpha_1 N_1 - \alpha_2 N_3), \\ \dot{N}_3 = N_3(-m_3 + k_2 \alpha_2 N_2 - \epsilon N_3). \end{cases} \quad (6)$$

ки дар ин ҷо N_i – биомассаи суммарӣ (ё шумораи) намудҳо, ки ба сатҳҳои трофикӣ тааллуқ доранд, m_i – коэффисиенти сатҳи миёнаи фавти табиӣ, k_0, k_i – ҳиссаи биомассаи истеъмолшуда барои такрористехсол ва афзоиш истифода мешавад, α_0, α – коэффисиентҳои функцияҳои трофикӣ, $i = \overline{1,3}$, ϵ – коэффисиенти худмахдудкунии популятсияи ҳайвоноти дарранда, t – вақт.

Барои масъалаи модел, мо қиматҳои параметрҳои зеринро таъин мекунем:

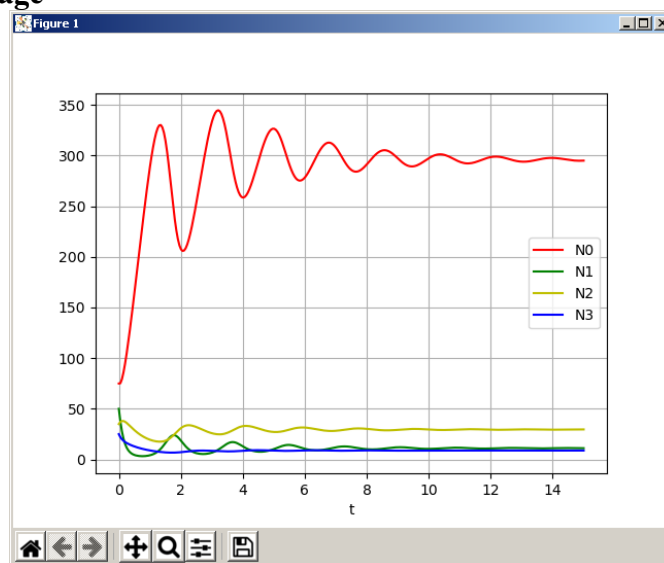
$Q=330, \alpha_0=0.1, \alpha_1=0.2, \alpha_2=0.1, k_0=0.2, k_1=0.4, k_2=0.6, m_1=0.01, m_2=0.01, m_3=0.01, \epsilon=0.2$.

Бо истифода аз забони барномасозии Python ва дохил намудани қимати параметрҳо мо натиҷаҳои зайлро ба даст овардем.

Расми. 4. Натиҷаи барнома бо истифода аз функцияи `sol_ivp()` дар забони барномасозии Python

Рисунок 4. Результат программы с использованием функции `solve_ivp()` на языке программирования Python

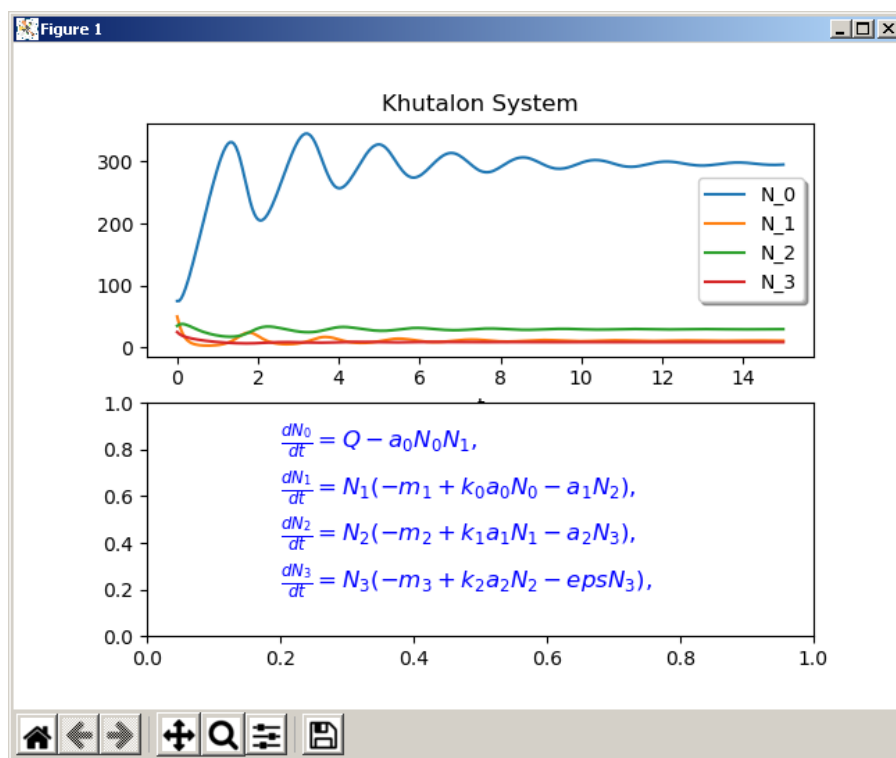
Figure 4. The result of the program using the `solve_ivp()` function in the Python programming language



Расми. 5. Натиҷаи иҷрои барнома бо истифода аз функсияи odeint() дар забони барномасозии Python

Рисунок 5. Результат программы с использованием функции odeint() на языке программирования Python

Figure 5. The result of the program using the odeint() function in the Python programming language



Ҳамин тариқ, чорӣ намудани робитаи аксуламал (яъне вобастагии қарорҳои қабулшуда аз ҳолати воқеии корҳо, на танҳо аз нақшаҳои идеалӣ) системаро муътадил мегардонад, ки дар сурати оптимизатсия кардани параметрҳои назоратшаванда бе аксуламал хароб хоҳад шуд.

АДАБИЁТ

1. Юнуси, М.К. Математические модели охраняемых популяций / М.К. Юнуси. – М.: ВЦ АН СССР, 1991. – 29с.
2. Юнуси, М.К. Математические модели защиты растений и охраны популяций животных / М.К. Юнуси. – Душанбе, 1988. – 290 с.
3. Юнуси, М.К. Некоторые математические вопросы охраны популяций животных / М.К. Юнуси // Докл. АН Тадж. ССР – 1989. – Т.32 – № 2. – С.87-92.
4. Юнуси, М.К. Динамика изолированных популяций с учетом возрастного состава и пространственных распределений / М.К. Юнуси // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования – Ростов-на-Дону, 1988. – С. 118-119.
5. Юнуси, М.К. Об одной модели популяционной численности / М.К. Юнуси, Ч.Т. Ганиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2013. – №1-2 (106). – С.17-22.
6. Юнуси, М.К. Математические вопросы оценки популяционной численности / М.К. Юнуси, Ч.Т. Ганиев, С.А. Одинаева // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2012. – №1/3 (85). – С.3-19.
7. Мирзоев, С.Х. Условия качественной устойчивости экосистем заповедника «Дашти-Джум» / М.К. Юнуси, С.Х. Мирзоев // Вестник ТГНУ – 2000. – №2. – С. 66-74.
8. Мирзоев, С. Х. О стабильности стационарных состояний экологических систем заповедников / С.Х. Мирзоев // Доклады АН РТ – 2002. – Т. XLIII – №4. – С. 70-75.

9. Мирзоев, С.Х. Математическое моделирование экосистем заповедника "Дашти-Джум" с учетом возрастных структур / С.Х. Мирзоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. – №2. – С.16-21.
10. Мирзоев, С. Х. О стабильности стационарных состояний экологических систем заповедников / С.Х. Мирзоев // Вестник ТНУ. – 2009. – №1(49). – С. 41-45.
11. Мирзоев, С.Х. Способ регуляризации неустойчивых структур сообществ экосистем региональных заповедников Республики Таджикистан / С.Х. Мирзоев // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2016. – №5. – С. 40-43
12. Базыкин, А.Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А.Д. Базыкин. – М.: Наука, 1985. – 181 с.
13. Рахмонов, П.К. Концептуальная модель экологической системы «Хуталон» / П.К. Рахмонов, Р.Дж. Турсунов // Вестник ТУТ – 2021. – №1(44). – С.107-113.
14. Раҳмон, П.Қ. Беҳинсозии раванди шикор дар масъалаҳои идоракунии оптимизатсионӣ бо биосистемаи навъи «алафхурон-дарандагон» / П.Қ. Раҳмон, М.Қ. Юнусӣ // Паёми ДМТ (Баҳши илмҳои табиӣ) – 2021. – №3 – С. 52-61
15. Раҳмон, П.К. Постановка задачи оптимизации охоты с учетом временных-возрастных распределений в стационарном случае / П.К. Раҳмон // Вестник ТУТ – 2021. – №3(46). – С.179-188.

REFERENCES

1. Yunusi, M.K. Mathematical models of protected populations / M.K. Yunusi. – M.: Computing center Academy of Science USSR, 1991. – P. 29.
2. Yunusi, M.K. Mathematical models of plant protection and animal population protection / M.K. Yunusi. – Dushanbe, 1988. – P. 290.
3. Yunusi, M.K. Some Mathematical questions in the Protection of Animal Populations / M.K. Yunusi // Report Academy of Science Tajik SSR – 1989. – Vol.32 – No. 2. – Pp.87-92.
4. Yunusi, M.K. Dynamics of isolated populations, taking into account the age composition and spatial distributions / M.K. Yunusi // Mathematical modeling in the problems of rational nature management – Rostov-na-Donu, 1988. – Pp. 118-119.
5. Yunusi, M.K. About one model of population numbers / M.K. Yunusi, Ch.T. Ganiev // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2013. – No. 1-2 (106). – Pp.17-22.
6. Yunusi, M.K. Mathematical questions of population numbers estimation / M.K. Yunusi, Ch.T. Ganiev, S.A. Odinzoda // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2012. – No. 1/3 (85). – Pp.3-19.
7. Mirzoev, S.Kh. Conditions for the qualitative sustainability of the ecosystems of the "Dashti-Jum" reserve / M.K. Yunusi, S.Kh. Mirzoev // Bulletin of TSNU – 2000. – No. 2. – Pp. 66-74.
8. Mirzoev, S.Kh. On the stability of stationary states of ecological systems of reserves / S.Kh. Mirzoev // Report Academy of Science RT. – 2002. – Vol. XLIII – No. 4. – Pp. 70-75.
9. Mirzoev, S.Kh. Mathematical modeling of the ecosystems of the "Dashti-Jum" reserve, taking into account age structures / S.Kh. Mirzoev // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2018. – No. 2. – Pp.16-21.
10. Mirzoev, S.Kh. On the stability of stationary states of ecological systems of reserves / S.Kh. Mirzoev // Bulletin TNU. – 2009. – No. 1(49). – Pp. 41-45.
11. Mirzoev, S.Kh. A method for regularization of unstable structures of ecosystem communities of regional reserves of the Republic of Tajikistan / S.Kh. Mirzoev // Science, the new technology and innovation of Kirgizya. – 2016. – No. 5. – Pp. 40-43
12. Bazikin, A.D. Mathematical biophysics of interacting populations / A.D. Bazikin. – M.: Nauka, 1985. – 181 p.
13. Rahmonov, P.K. Setting tasks of the Hutalon reserve ecosystem taking time / P.K. Rahmonov, R.J. Tursunov // Bulletin TUT. – 2021. – No. 1(44). – Pp.107-113.
14. Rahmon, P.Q. Hunting process optimization in optimal management tasks, connected with bio systems type of "herbivorous animals-predators" / P.Q. Rahmon, M.K. Yunusi // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2021. – No. 3 – Pp. 52-61
15. Rahmon, P.K. Formulation of the problem of hunting optimization taking into account time-age distribution and in a stationary case / P.K. Rahmon // Bulletin of TUT. – 2021. – No. 3(46). – Pp.179-188.

МОДЕЛИ МАТЕМАТИКИ ШИКОР

БАРОИ ҚИМАТҲОИ ГУНОГУНИ КВОТАИ МУҚАРРАШУДА

Дар солҳои охир хочагиҳои шикори мамлақати мо дар бобати истифодаи бурдани элементҳои алоҳида барои гузарондани равандҳои шикор таҷрибаҳои амалии муайян ҷамъоварӣ намудаанд. Дар бисёр хочагиҳои мамнуъгоҳи Хуталон ва баъзе дигар хочагиҳои Тоҷикистон олимони ба қор

карда баромадани баъзе элементҳои оптимизатсияи раванди шикор шуруъ намуда, натиҷаҳои онро дар амал татбиқ намудаанд. Ин равишҳо камбудҳои ҷиддиро ба бор меоранд, зеро аз ҷиҳати илмӣ-риёзӣ беасос буда, дар натиҷа ба баъзе нофаҳмовиву норасоӣҳо дар масъалаҳои экологӣ оварда мерасонад. Раванди оптимизатсия ин амалҳои номатлубро баргараф мекунад, гарчанде он метавонад танҳо дар ҳолатҳои хеле кам, яъне дар баъзе диапазонҳои хурди параметрҳои модели мувофиқи биосистема самаранок бошад ва биосистемаро муътадил карда наметавонад. Таҳлили омилҳои маҳдудкунанда ва механизмҳои таъсиррасонии онҳо яке аз постулатҳои асосии таҳияи барномаи самарабахши ба эътидол овардани системаҳои экологӣ мебошад. Мақсади тадқиқоти мо ҷорӣ намудани параметри шикор бо шиддати доимии c (квотаи шикори собит дар як воҳиди вақт) мебошад.

Калидвожаҳо: шикор, мамнӯъгоҳи Хуталон, параметри шикор, биосистема, популятсия, афзоиш, системаи биологӣ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОХОТЫ ДЛЯ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КВОТЫ

В последние годы в охотничьих хозяйствах нашей страны накоплен определенный практический опыт использования тех или иных элементов для проведения охотничьих процессов. Во многих хозяйствах Хуталонского заповедника и некоторых других хозяйствах Таджикистана ученые приступили к отработке некоторых элементов оптимизации охотничьего процесса и внедрению их в практику. Эти подходы имеют серьезные недостатки, поскольку являются научно и математически необоснованными, и в результате приводят к некоторым недоразумениям и пробелам в экологических вопросах. Процесс оптимизации устраняет эти нежелательные действия, хотя может быть эффективен лишь в очень редких случаях, то есть в каких-то малых диапазонах параметров соответствующей модели биосистемы, и не может стабилизировать биосистему. Анализ лимитирующих факторов и механизмов их влияния является одним из основных постулатов разработки эффективной программы стабилизации экологических систем. Целью нашего исследования является введение параметра охоты с постоянной интенсивностью c (фиксированная норма охоты в единицу времени).

Ключевые слова: охота, заповедник Хуталон, параметр охоты, биосистема, популяция, рост, биологическая система.

MATHEMATICAL MODEL OF HUNTING FOR DIFFERENT VALUES OF THE QUOTA

In recent years, some practical experience in the use of certain elements for hunting processes has been accumulated in the hunting farms of our country. In many farms of the Khutalon Reserve and some other farms in Tajikistan, scientists have begun to work out some elements of optimizing the hunting process and put them into practice. These approaches are seriously flawed because they are scientifically and mathematically unsound, and as a result lead to some misunderstandings and gaps in environmental issues. The optimization process eliminates these undesirable actions, although it can be effective only in very rare cases, that is, in some small ranges of parameters of the corresponding biosystem model, and cannot stabilize the biosystem. The analysis of limiting factors and mechanisms of their influence is one of the main postulates of the development of an effective program for the stabilization of ecological systems. The aim of our study is to introduce a hunting parameter with a constant intensity c (fixed hunting rate per unit time).

Keywords: hunting, Khutalon reserve, hunting parameter, biosystem, population, growth, biological system.

Маълумот дар бораи муаллифон: Одиназода Сафаргул Атабек – номзоди илмҳои физикаю математика, декани факултети муштарак ДМТ бо МТО Беларус. **Суроға:** 734055, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ, 17 **Телефон:** (+992) 918-85-70-83. **E-mail:** safa_37@mail.ru, safargulodinazoda@gmail.com.

Раҳмон Парвиз Курбоналӣ - докторанти Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон. **Суроға:** 734061, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Н.Қарабоев 63/3. **Телефон:** (+992) 939-32-55-65. **E-mail:** parviz-rahmonov@mail.ru.

Ғаниев Чалиш Тағойбекович – н.и.ф.м., муаллими калони кафедраи технологияи информатсионии Донишқадаи тарбияи ҷисмонии Тоҷикистон ба номи С. Раҳимов, **Суроға:** 734055, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ 17, **Телефон:** (+992) 918-59-61-64. **E-mail:** chalish@mail.ru.

Сведения об авторах: Одиназода Сафаргул Атабек – кандидат физико-математических наук, декан совместного факультета ТНУ с ВУЗами Белоруссии. **Адрес:** 734055, Республика Таджикистан,

г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 918-85-70-83. **E-mail:** safa_37@mail.ru, safargulodinazoda@gmail.com.

Рахмон Парвиз Курбонали – докторант PhD Технологического университета Таджикистана. **Адрес:** 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Н.Карабаева, 63/3. **Телефон:** (+992) 939-32-55-65; **E-mail:** parviz-rahmonov@mail.ru.

Ганиев Чалиш Тагойбекович – к.ф.м.н., ст. преподаватель кафедры информационных технологий Таджикского института физической культуры им. С. Рахимова, **Адрес:** 734055, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки 17, **Телефон:** (+992) 918-59-61-64. **E-mail:** chalish@mail.ru.

Information about authors: Odinizoda Safargul Atabek – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Dean of the joint faculty of TNU with HEI of Belarus. **Address:** 734055, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 918-85-70-83; **E-mail:** safa_37@mail.ru, safargulodinazoda@gmail.com.

Rahmon Parviz Qurbonali – PhD student of the Technological University of Tajikistan. **Address:** 734061, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Karabaeva Street, 63/3. **Phone:** (+992) 939-32-55-65. **E-mail:** parviz-rahmonov@mail.ru.

Ganiev Chalish Tagoybekovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Information Technologies of the Tajik Institute of Physical Culture named after. S. Rakhimov, **Address:** 734055, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17, **Phone:** 918-59-61-64. **E-mail:** chalish@mail.ru.

АЛГОРИТМИ ҲИСОБ КАРДАНИ АДАДҲОИ ТАВСИФИИ БУЗУРГИИ ТАСОДУФӢ

Шерматов Н., Мусоев С.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

ПЕШГУФТОР

Зухуроти тасодуфӣ, ҳангоми такроран гузаронидани таҷриба ҳар маротиба дигар хелтар қорӣ мегардад. Назарияи эҳтимолият схема ё модели зухуроти оммавино коркард намуда, онро ба ҳар як натиҷаи имконпазир алоқаманд мекунад. Статистикаи математикӣ бошад, усулҳои коркард менамояд, ки ҳамаи ахборотро дар маводи маҳдуд буда истифода карда, ҳулосаҳои асоснок мебарорад.

Марҳилаи аввали тадқиқоти статистикӣ оид ба бузургии тасодуфии X иборат аз ҷамъи қиматҳои мушоҳидашаванда аст, ки ин бузургӣ қиматҳои x_1, x_2, \dots, x_k -ро, мувофиқан бо зудҳои n_1, n_2, \dots, n_k қабул мекунад.

Дар мақола алгоритми ҳосил намудани қиматҳои бузургии тасодуфӣ ва мувофиқан зудҳои сохта шуда, дар асоси қонуни тақсимоли ҳосилшуда, ададҳои тавсифии бузургии тасодуфии X : интизорияти математикӣ, дисперсия, мода, асимметрия ва эксесс ҳисоб карда шудаанд.

ГУЗОРИШИ МАСЪАЛА ВА ҲАЛЛИ ОН

Бигузур тақсимоли эмпирикӣ дар намуди пайдарпаии вариантҳо ва мувофиқан зудҳои онҳо ҳосил карда шудаанд:

x_i	n_1	x_2	x_k
n_i	n_1	x_2	n_k

Алгоритми ҳисоби ададҳои тавсифии бузургии тасодуфӣ бояд сохта шавад. Барои ҳалли масъала чунин алгоритм пешниҳод карда мешавад:

- барои ёфтани шумораи умумии нуктаҳо:

$$m = \text{бақияи} \left(\frac{V + 154}{5} \right) + 4, i = 1, 2, \dots$$

- барои ёфтани вариантҳои ибтидоӣ:

$$x_1 = \text{бақияи} \left(\frac{|V + 345|}{9} \right) - 3$$

- барои ёфтани қадам:

$$h = \text{бақияи} \left(\frac{V + 135}{4} \right) + 1$$

- ёфтани вариантҳои боқимонда:

$$x_i = x_{i-1} + h$$

- барои ҳисоби зудии ибтидоӣ:

$$n_1 = \text{бақияи} \left(\frac{|132 - 3V|}{5} \right) + 1$$

- барои ҳисоби зудҳои боқимонда:

$$n_i = \begin{cases} n_0 + \left| \text{бақияи} \left(\frac{V+4i}{7} \right) - 3i \right|, & \text{агар } i = 2k, k \in N \\ n_0 + \left| \text{бақияи} \left(\frac{V-3i}{9} \right) - 4i \right|, & \text{агар } i = 2k+1 \end{cases}$$

Агар дар алгоритмҳои овардашуда фарз кунем, ки $V=100$ он гоҳ ҳосил мекунем:

$m=8, x_1=1, h=4, n_1=4$. Қиматҳои боқимондаи $(x_i, n_i), i=\overline{2,8}$ дар асоси алгоритм автоматӣ ёфта мешавад.

Барои ҳисоби интизорияти математикӣ, дисперсия, асимметрия ва эксесс мувофиқан аз формулаҳои зерин истифода шудаанд:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 x_i n_i,$$

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 (x_i - m)^2 n_i,$$

$$\overline{a_s} = \frac{\mu_3}{\sqrt{D^3}},$$

$$\overline{e_x} = \frac{\mu_4}{D^2},$$

ки

$$\mu_2 = \vartheta_2 - \vartheta_1^2,$$

$$\mu_3 = \vartheta_3 - 3\vartheta_1\vartheta_2 + 2\vartheta_1^3,$$

$$\mu_4 = \vartheta_4 - 4\vartheta_1\vartheta_3 + 6\vartheta_1^2\vartheta_2 - 3\vartheta_1^4$$

ва

$$\vartheta_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 x_i^k n_i, k = \overline{1,8}$$

мебошанд ($n=129$).

Дар равзанаи монитор меҳонем:

Расм. Натиҷаи барномаи ададҳои тавсифӣ

Рисунок. Результат программы для описание числа

Figure. Program result for number description

Form1

V=

x[i]	1	5	9	13	17	21	25	29	33
n[i]	4	7	7	15	12	20	17	25	22

Интизорият=

Дисперсия=

Мода=

Асиметрия=

Эксесс=

Бояд қайд кард, ки барои дилхоҳ V-и мусбат, қонуни тақсимоти бузургии X ҳосил шуда, ададҳои тавсифиашон ҳисоб карда мешавад.

Дар поён алгоритм ва коди барнома дар забони барномасозии C ++ оварда шудааст:

Алгоритм:

1) **Ибтидо**

2) **Эълонкунии тағйирёбандаҳо**

$h, v, x[100], n[100], m, n0, x0, d, intizoriyat, dispersiya, v1, v2, v3, v4, my3, my4, a5, ex,$
 $max=n[0], sum_n=0, sum_nx=0, sum_xx=0, sum_nxx=0, sum_x=0, sum_nxxxx=0,$
 $sum_nxxx=0, sum_xxat_kv=0, sum_xxat_kv_n=0;$

3) **Дохилкунии V**

4) **Ҳисобкунии**

$m=бақияи((v+154)/5)+4;$
 $x0=abs(бақияи((v+345)/9))-3;$
 $n0=abs(бақияи((132-3*v)/5))+1;$
 $h=бақияи((v+135)/4)+1;$
 $x[0]=x0;$
 $n[0]=n0;$

5) **Барои i=1 то m**

6) **Агар i%2==0 онгоҳ**

$n[i]=n0+abs(бақияи((v+4*i)/7)-3*i);$

7) **Вагарна i%2==1**

$n[i]=n0+abs(бақияи((v-3*i),9)-4*i);$
 $x[i]=x[i-1]+h;$

8) **Барои аз 1 то m**

9) **Хориҷкунии x[i], n[i]**

10) **Ҳисобкунии**

$sum_n=sum_n+n[i];$

- ```

sum_nx=sum_nx+x[i]*n[i];
sum_xx=sum_xx+x[i]*x[i];
sum_nxx=sum_nxx+x[i]*n[i]*x[i];
sum_nxxx=sum_nxxx+x[i]*x[i]*x[i]*n[i];
sum_nxxx=sum_nxxx+x[i]*x[i]*x[i]*n[i];
sum_x=sum_x+x[i];
11) Агар n[i]>max онгох
 max=n[i];
12) Барои i аз 0 то m
 sum_xxat_kv=sum_xxat_kv+pow((x[i]-sum_nx/sum_n),2)*n[i];
13) Ҳисобкунии
 intizoriyat=sum_nx/sum_n;
 dispersiya=sum_xxat_kv/sum_n;
 d=max;
 v1=sum_nx/sum_n;
 v2=sum_nxx/sum_n;
 v3=sum_nxxx/sum_n;
 v4=sum_nxxxx/sum_n;
 my3=v3-3*v1*v2+2*v1*v1*v1;
 my4=v4-4*v1*v3+6*v1*v1*v2-3*pow(v1,4);
 a5=my3/(sqrt(pow(dispersiya,3)));
 ex=my4/(pow(dispersiya,2))-3;
14) Хориҷкунии (intizoriyat);
15) Хориҷкунии (dispersiya);
16) Хориҷкунии (moda);
17) Хориҷкунии (assimetriya);
18) Хориҷкунии (eksses);
19) Интиҳо

```

**Коди барнома:**

```

//-----
#include <vcl.h>
#include <math.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit1.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}
//-----
int iht(int a,int b) {
for(int l=2;l<=a;l++) {
if(a%l==0 && b%l==0) {
a=a/l;
b=b/l;
}
}return a%b;
}
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)

```

```

{int h,v,x[100],n[100],m,n0,x0, s=0,s1=0,s2=0,s3=0,s4=0,d;
float intizoriyat,dispersiya,v1,v2,v3,v4,my3,my4,a5,ex;
v=StrToInt(Edit1->Text);
m=iht((v+154),5)+4;
x0=abs(iht((v+345),9))-3;
n0=abs(iht((132-3*v),5))+1;
h=iht((v+135),4)+1;
x[0]=x0;
n[0]=n0;
for(int i=1; i<=m; i++){
if(i%2==0){
n[i]=n0+abs(iht((v+4*i),7)-3*i);
} else if(i%2==1){
n[i]=n0+abs(iht((v-3*i),9)-4*i);
}
x[i]=x[i-1]+h;
}float max=n[0],sum_n=0,sum_nx=0,sum_xx=0,sum_nxx=0,sum_x=0, sum_nxxx=0,
sum_nxxx=0;
for(int i=0; i<=m; i++){
StringGrid1->Cells[i+1][0]=IntToStr(x[i]);
StringGrid1->Cells[i+1][1]=IntToStr(n[i]);
sum_n=sum_n+n[i];
sum_nx=sum_nx+x[i]*n[i];
sum_xx=sum_xx+x[i]*x[i];
sum_nxx=sum_nxx+x[i]*n[i]*x[i];
sum_nxxx=sum_nxxx+x[i]*x[i]*x[i]*n[i];
sum_nxxx=sum_nxxx+x[i]*x[i]*x[i]*n[i];
sum_x=sum_x+x[i];
s2=s2+x[i];
if(n[i]>max){
max=n[i];
}
} float sum_xxat_kv=0,sum_xxat_kv_n=0;
for(int i=0; i<=m; i++){
sum_xxat_kv=sum_xxat_kv+pow((x[i]-sum_nx/sum_n),2)*n[i];
}
intizoriyat=sum_nx/sum_n;
dispersiya=sum_xxat_kv/sum_n;
d=max;
v1=sum_nx/sum_n;
v2=sum_nxx/sum_n;
v3=sum_nxxx/sum_n;
v4=sum_nxxxx/sum_n;
my3=v3-3*v1*v2+2*v1*v1*v1;
my4=v4-4*v1*v3+6*v1*v1*v2-3*pow(v1,4);
a5=my3/(sqrt(pow(dispersiya,3)));
ex=my4/(pow(dispersiya,2))-3;
Edit2->Text=FloatToStr(intizoriyat);
Edit3->Text=FloatToStr(dispersiya);
Edit4->Text=FloatToStr(d);
Edit5->Text=FloatToStr(a5);
Edit6->Text=FloatToStr(ex);

```

```

}
//-----
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{ StringGrid1->Cells[0][0]="x[i]";
StringGrid1->Cells[0][1]="n[i]";
}
//-----

```

Дар хулоса махсус кайд мекунем, ки мавҷуд ё нокифоя маънидодкунии он ки аз кучо сарчашмаи интихоб пайдо мегардад ва чӣ тавр ин ё он методи статистикаи математикӣ истифода мешавад, муҳим мебошад. Яке аз роҳҳои ҳосил кардани маълумотҳо – ин сохтани алгоритми масъала мебошад.

#### АДАБИЁТ

1. Самандаров, Э.Г. Асосҳои назарияи эҳтимолият / Э.Г. Самандаров, М. Муъминов, Н. Шерматов. – Душанбе: Маориф, 1992. – 192 с.
2. Хальд, А. Математическая статистика с техническими приложениями / А. Хальд. – М.: ИЛ, 1956. – 664 с.
3. Пустильник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустильник. – М.: Физматгиз, 1968. – 288 с.
4. Налимов, В.В. Применение математической статистики при анализе вещества / В.В. Налимов. – М.: Физматгиз, 1960. – 430 с.
5. Одинаев, Р.Н. Методы оптимизации в примерах и задачах / Р.Н. Одинаев, Ф. Раимзода, Ф. Р. Раимзода, Н. Ш. Шерматов. – Душанбе: ЭР-граф, 2020. – 148 с.
6. Nakimiyon, S.F. Comparative models of streamlining traditions, celebrations and ceremonies in regions, cities and districts of the Republic of Tajikistan / S. F. Nakimiyon, R. N. Odinaev // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. – №. 2. – С. 5-15. – EDN BANFPF.
7. Шерматов, Н.Ш. Применение статистических методов в решении прикладных задач / Н.Ш. Шерматов, Р.Н. Одинаев, П.Л. Нарзуллоев. – Душанбе: ЭР-Граф, 2020. – 96 с. – EDN ВРHXSE.
8. Shermatov, N. Algorithm for generating a statistical sample distribution / N. Shermatov, A.V. Gaforov // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2020. – № 3. – С. 25-37. – EDN LFOXJO.
9. Культин, Н.Б. С++Builder в примерах / Н.Б. Культин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
10. Odinaev, R.N. Regression analysis of the streamlining of traditions, celebrations and rites in the Republic of Tajikistan / R. N. Odinaev, S. F. Nakimiyon // . – 2020. – No. 3. – P. 37-46. – EDN PIGGLT.
11. Боровский, А. С++ и Pascal в Kylix 3. Разработка интернет-приложений и СУБД / А. Боровский. – М.: БХВ-Петербург, 2014. – 544 с.
12. Вальпа, О. Borland С++ Builder. Экспресс-курс (+ CD) / О. Вальпа. – М.: БХВ-Петербург, 2012. – 224 с.
13. Макки, А. Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов / А. Макки. – М.: Вильямс, 2014. – 416 с.
14. Гольштейн, Е.Г. Нове направления в линейном программировании / Е.Г. Гольштейн, Д.Б. Юдин – М.: Сов.радио, 1992. – 527с.
15. Данциг, Дж. Линейное программирование, его обобщения и применения / Дж. Данциг. – М.: Прогресс, 1966. – 602 с.
16. Соколов, Г.А. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике: Учебное пособие / Г.А. Соколов, Р.В. Сагитов. – М.: Инфра-М, 2016. – 352 с.
17. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Вильямс, 2016. – 912 с.

#### REFERENCES

1. Samandarov, E.G. Basics of probability theory / E.G. Samandarov, M. Muminov, N. Shermatov. – Dushanbe: Maorif, 1992. – 192 p.
2. Hald, A. Mathematical statistics with technical applications / A. Hald. – М.: IL, 1956. – 664 p.
3. Pustilnik, E.I. Statistical methods of analysis and processing of observations / E.I. The pusher. – М.: Fizmatgiz, 1968. – 288 p.
4. Nalimov, V.V. Application of mathematical statistics in the analysis of substance / V.V. Nalimov. – М.: Fizmatgiz, 1960. – 430 p.

5. Odinaev, R.N. Optimization methods in examples and problems / R.N. Odinaev, F. Raimzoda, F.R. Raimzoda, N.Sh. Shermatov. – Dushanbe: ER-graph, 2020. – 148 p. - EDN LYAGOE.
6. Hakimiyon, S.F. Comparative models of streamlining traditions, celebrations and ceremonies in regions, cities and districts of the Republic of Tajikistan / S.F. Hakimiyon, R.N. Odinaev // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2021. – No. 2. – Pp. 5-15. – EDN BANFPF.
7. Shermatov, N.Sh. Application of statistical methods in solving applied problems / N.Sh. Shermatov, R.N. Odinaev, P.L. Narzulloev. – Dushanbe: ER-Graf, 2020. - 96 p. – EDN BPHXSE.
8. Shermatov, N. Algorithm for generating a statistical sample distribution / N. Shermatov, A. B. Gaforov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2020. – No. 3. – Pp. 25-37. - EDN LFOXJO.
9. Kultin, N.B. C++Builder in examples / N.B. Kultin. - SPb: BHV-Petersburg, 2005. – 288 p.
10. Odinaev, R.N. Regression analysis of the streamlining of traditions, celebrations and rites in the Republic of Tajikistan / R. N. Odinaev, S. F. Hakimiyon // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2020. – No. 3. – Pp. 37-46. – EDN PIGGLT.
11. Borovsky, A. C++ and Pascal in Kylix 3. Development of Internet applications and DBMS / A. Borovsky. – M.: BHV-Petersburg, 2014. – 544 p.
12. Walpa Oleg Borland C ++ Builder. Express course (+ CD) / Oleg Valpa. – M. : BHV-Petersburg, 2012. – 224 p.
13. McKee, A. An Introduction to .NET 4.0 and Visual Studio 2010 for Professionals / A.McKee. – M: Williams, 2014. – 416 p.
14. Holstein, E.G. New directions in linear programming / E.G. Golshtein, D.B. Yudin. – M: Sov. radio, 1992. – 527 p.
15. Danzig J. Linear programming, its generalizations and applications / J. Danzig. – M.: Progress, 1966. – 602 p.
16. Sokolov, G.A. Introduction to regression analysis and planning of regression experiments in economics: Textbook / G.A. Sokolov, R.V. Sagitov. – M.: Infra-M, 2016. – 352 p.
17. Draper, N. Applied Regression Analysis / N. Draper, G. Smith. – M.: Williams, 2016. – 912 p.

#### **АЛГОРИТМИ ҲОСИЛ КАРДАНИ АДАДҲОИ ТАВСИФИИ БУЗУРГИИ ТАСОДУФӢ**

Дар таҳқиқотҳои илмӣ бо техника ва истеҳсолоти оммавӣ ва таҷрибаҳои зухуроте вомехӯрем, ки дар шароити яхела такроршавандаанд. Новобаста аз доимӣ будани ҷамъи шартҳои асосӣ, натиҷаҳо зиёд ё камтар аз ҳам фарқ мекунанд, яъне тасодуфӣ парокандаанд. Ин маънои онро дорад, ки такрор ба такрор ҷенкунии ҳамон бузургӣ бо ёрии як асбоб маълумоти яхела ба даст оварда намешавад. Ҳангоми ҷой доштани парокандашавии тасодуфӣ, натиҷаи ҳар як ҷенкунии алоҳидаро пешгӯӣ намудан имконнопазир бошад ҳам, ҳоло он ифода намекунад, ки аз ҷенкунии такрорӣ ягон қонуният муайян карда намешавад. Вале баровардани қонуниятро аппарати математикӣ имконият фароҳам меоварад. Дар статистикаи математикӣ, асосан, объектҳои якҷинсаи аломати миқдории бузургии  $X$  омӯхта мешавад. Интиҳоби  $x_1, x_2, \dots, x_k$  гузаронида шуда, зудихояш мувофиқан  $n_1, n_2, \dots, n_k$  мебошад. Мақсад аз ташкили қонуни тақсими  $X$  буда, дар асоси он ҳисоби ададҳои тавсифии бузургии тасодуфиро ба дараҷаи муайяне тавсиф менамоянд. Дар мақола гузориши масъала оварда шуда, алгоритми ҳосил кардани ҷадвали қиматҳои  $(x_i, n_i)$  пешниҳод шудааст. Аз рӯи алгоритм миқдори нуқтаҳои қиматҳои  $x_i$  ва  $n_i$  ҳисоб карда шуда, қонуни тақсимои ташкил карда мешавад. Коди барнома дар забони барномасозии C++ оварда шудааст. Тавсифҳои ададӣ, ба монанди интизорияи математикӣ ва дисперсия ҳисоб карда мешавад. Барои ёфтани асимметрия ва эксесс моментҳои тартибиашон гуногун ёфта шудааст.

**Калидвожаҳо:** тасодуф, қонуни тақсимои, алгоритм, барнома, интизорияи математикӣ, дисперсия, моментҳо.

#### **АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

В научных исследованиях, технике и в массовом производстве встречаемся с опытами или явлениями повторяющимся в неизменных условиях. Несмотря на постоянство совокупности основных условий, их результаты более или менее отличаются друг от друга, т.е. случайно рассеиваются. Это означает, что неоднократное повторение измерения величины одним прибором не дают одинакового результата. При имеющемся месте случайного рассеивания, результат одного измерения нельзя прогнозировать. Это не отрицает устанавливать закономерность. Математический аппарат, при массовом повторении опытов позволяет этому. В математической статистике, в основном изучаются однородные объекты количественного признака  $X$ . Проводя выборку имеем значения  $x_1, x_2, \dots, x_k$  с соответствующими частотами  $n_1, n_2, \dots, n_k$ . Целью работы является формирование закона распределения величины  $X$  и вычисления числовых характеристик.

В статье приведена постановка задачи и алгоритм формирования таблицы значений  $(x_i, n_i)$ . По алгоритму вычисляются эти значения с опеределением число точек. Приведена код программы на языке C++. Вычислены математическое ожидание и дисперсия. Найдены моменты различных порядков для нахождения асимметрии и эксцесса.

**Ключевые слова:** случайность, закон распределения, алгоритм, программа, математическое ожидание, дисперсия, моменты.

#### ALGORITHM FOR CALCULATION OF NUMERICAL CHARACTERISTICS OF A RANDOM VALUE

In scientific research, technology and mass production, we encounter experiences or phenomena that are repeated under constant conditions. Despite the constancy of the set of basic conditions, their results are more or less different from each other, i.e. scattered randomly. This means that repeated repetition of measuring a quantity with the same instrument does not give the same result. Given the presence of random dispersion, the result of a single measurement cannot be predicted. This does not negate the establishment of a pattern. The mathematical apparatus, with the mass repetition of experiments, allows this. In mathematical statistics, homogeneous objects of the quantitative attribute  $X$  are mainly studied. By sampling, we have the values  $x_1, x_2, \dots, x_k$  with the corresponding frequencies  $n_1, n_2, \dots, n_k$ . The purpose of the work is the formation of the law of distribution of the value of  $X$  and the calculation of numerical characteristics. The article presents the problem statement and the algorithm for generating a table of values  $(x_i, n_i)$ . The algorithm calculates these values by determining the number of points. The program code in C++ is given. Mathematical expectations and variance are calculated. Moments of different orders are found for finding asymmetry and kurtosis.

**Keywords:** randomness, distribution law, algorithm, program, mathematical expectation, variance, moments.

*Маълумот дар бораи муаллифон:* **Шерматов Нурмахмад** – доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 904-02-73-07.

**Мусоев Сухайли Сайвалиевич** – ассистенти кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботии факултети механикаю математикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 907-88-88-57. **E-mail:** suhaily94@mail.ru.

*Сведения об авторах:* **Шерматов Нурмахмад** - доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и механики Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 904-02-73-07.

**Мусоев Сухайли Сайвалиевич** – ассистент кафедры информационные и коммуникационные технологии механико-математического факультета Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки 17. **Телефон:** 907-88-88-57. **E-mail:** suhaily94@mail.ru.

*Information about the authors:* **Shermatov Nurmahmad** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computational Mathematics and Mechanics of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 904-02-73-07.

**Musoev Suhaili Sayvalievich** - Assistant of the Department of Information and Communication Technologies, Faculty of Mechanics and Mathematics, Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 907-88-88-57. **E-mail:** suhaily94@mail.ru.

**МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ СИНГУЛЯРНЫХ  
ВОЗМУЩЕННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ТЕПЛООБМЕНА В  
НЕОГРАНИЧЕННЫХ СРЕДАХ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ПОСТОЯННОГО  
ИСТОЧНИКА МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ**

*Джураев Х.Ш., Ниёзов Ш.Д.*

НИИ Таджикский национальный университет,  
Кулябский государственный университет им. А.Рудаки

**Введение**

В работах [1,2] сформулированы методы модельного представления аналитических решений сингулярных возмущённых нестационарных явлений теплообмена в неограниченных средах методом интегрального преобразования Фурье. При модельном представлении процессов переноса тепла обычно предполагается, что рассматриваемая система находится в состоянии локального равновесия [3,4]. Между тем, индуцированные в среде процессы протекают достаточно быстро с характерными временами, лежащими на наносекундной шкале. На таких временных промежутках в среде может не успевать устанавливаться локальное равновесие [5-7]. Как следствие, использование обычных математических моделей переноса тепла для описания реальных процессов становится некорректным [8-11]. Поэтому быстрые изменения состояния системы процесса переноса в среде будут происходить на фоне релаксации системы к состоянию локального равновесия. Этот фактор может оказаться существенным при анализе наблюдаемых закономерностей. Более того, текущее изменение состояния системы и ее возвращение в состояние локального равновесия при наличии внешнего постоянного источника описать невозможно. В связи с этим модельное представление решений сингулярных возмущённых нестационарных явлений теплообмена в неограниченных средах при наличии внешнего постоянного источника методом интегрального преобразования Фурье является важной задачей, которая рассматривается в настоящей работе.

**2. Постановка задачи**

Рассмотрим волновое явление распространения тепла при наличии внешнего постоянного источника в неограниченных средах:

$$\varepsilon c_{\rho} \rho \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + c_{\rho} \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q(x,t), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$ -малый параметр, [м];  $c_{\rho}$  -удельная теплоемкость,  $\left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$ ;  $\rho$  -плотность,  $\left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ ;  $\lambda$

-коэффициент теплопроводности,  $\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$ ;  $T = T(x, t)$  температура, зависящая от

координат  $x$  и время  $t$ ,  $\left[ ^\circ\text{C} \text{ или } \text{К} \right]$ ;  $q(x,t)$ - функция внешнего постоянного источника. Допустим, что в начальный момент времени  $t=0$  известно распределение температуры во всем пространстве:

$$T_{\varepsilon}(x, t) = T_{\varepsilon 0}(x), \quad \frac{\partial T_{\varepsilon}}{\partial t} = 0 \text{ при } t=0, \quad (2)$$



где  $T_{\varepsilon 0}(x)$  - заданная функция, зависящая от координат  $x$ .

Для уточнения решения, полученного из модели, а также для выяснения погрешности этого решения применяются различные варианты метода возмущения, и им посвящена обширная литература [12-16]. Удачный выбор модели для невозмущенного и возмущенного решения позволяет во многих обстоятельствах, даже при действии начального приближения, получить решение с допустимой точностью при относительно незначительной себестоимости исследования.

Пусть нас интересуют возмущения, описываемые математическими моделями как выражения вида (1), при заданных начальных условиях (2). Если положить  $\varepsilon = 0$ , то есть отбросить возмущение в уравнении (1), то получим уравнение

$$c\rho\rho\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q(x,t), \quad (3)$$

$$T_{\varepsilon}(x,t) = T_{\varepsilon 0}(x) \text{ при } t=0. \quad (4)$$

В этом случае может быть, что произвольно известное начальное условие (2) не удовлетворяет уравнению (3) в краях  $x=0$  или  $x=I$  сред. Если невозмущенное уравнение (3) при  $x=0$  или  $x=I$  противоречит условиям (2), то это означает, что сила инерции в этот момент отлична от нуля, то есть в так называемом релаксационном этапе движения пренебрегать первым членом в уравнении (1) нельзя.

Очевидно, что невозмущение уравнения (3) приводит к изменению порядка дифференциального уравнения по времени. Это означает, что любое дифференциальное уравнение является приближенным, не адекватным полностью тому процессу, которое оно описывает. Поэтому какие-то факторы, влияние которых на процесс предполагается «малым», сводятся к изучению зависимости решений дифференциальных уравнений от малых параметров. В математической постановке прикладных задач возникает вопрос проведения решений  $T(x,t,\varepsilon)$  задачи (1)-(2) при значениях коэффициентов, характеризуемых «Малым» параметром. Решение задачи с малым параметром в силу ее прикладной важности (приложение теории этих уравнений в гидродинамике, нелинейной механике, химической и биологической кинетике, экологии, теории оболочек и многих других областях) стало одним из крупных направлений в области дифференциальных уравнений и математической физике (см.[17-22]). В связи с этим представляет интерес нахождение приближенного аналитического решения задачи (1)-(2), которое близко к решению задачи (3)-(4).

### **3. Модельное изучение нестационарного процесса теплообмена при наличии постоянных источников**

Прежде всего, отметим, что в физических задачах по распространению температуры при наличии источников тепла интенсивность  $q(x,t)$  в большинстве случаев может быть задана в виде функции температуры или функции координат и времени.

Из теории неоднородных дифференциальных уравнений следует, что общее решение неоднородного уравнения (1) может записываться в виде [11, 23]:

$$T_{\varepsilon}(x,t) = T_{1\varepsilon}(x,t) + T_{2\varepsilon}(x,t), \quad (5)$$

где  $T_{1\varepsilon}(x,t)$  - общее решение однородного уравнения, значение которого было определено с применением интегрального преобразования Фурье в работах [1,2]:

$$T_{1\varepsilon}(x,t) = \frac{1}{\beta\sqrt{t\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} T_{\varepsilon 0}(z) \exp\left(-\frac{(z-x)^2}{4\beta^2 t}\right) dz + \frac{\varepsilon\beta}{4\sqrt{t\pi}} \exp\left(-\frac{t}{\varepsilon}\right) \int_{-\infty}^{\infty} T_{\varepsilon 0}(z) \exp\left(-\frac{(z-x)^2}{4\beta^2 t}\right) \left[1 + \frac{(z-x)^2}{\beta^3 t\sqrt{t}}\right] dz, \quad (6)$$

и было доказано, что если начальные условия  $T_{1\varepsilon 0}(x)$  ( $T_{10}(x)$ ) могут быть разложены в ряд Фурье на всяком конечном интервале, и интеграл  $\int_{-\infty}^{\infty} |T_{1\varepsilon 0}(x)| dx$  имеет значение (сходится), тогда выражение (6) сходится к функции

$$T_1(x,t) = \frac{1}{\beta\sqrt{t\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} T_{10}(z) \exp\left(-\frac{(z-x)^2}{4\beta^2 t}\right) dz \quad (7)$$

для всякого  $t > 0$  и  $x$ , где  $T_1(x,t)$  - является решением следующей задачи:

$$\rho c_{\rho} \frac{\partial T_1(x,t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T_1(x,t)}{\partial x^2},$$

$$T_1(x,t) = T_{10}(x) \text{ при } t=0,$$

где  $\beta = \frac{\lambda}{\rho c_{\rho}}$  - коэффициент температуропроводности;  $T_{2\varepsilon}(x,t)$  - частное решение уравнения (1), которое следует определить.

Если тепло, подаваемое от источника, распространяется вдоль тела от начала координат в оси  $x$  неограниченно, то неоднородное уравнение(1) для модельного представления функции  $T_{2\varepsilon}(x,t)$  принимает вид:

$$\varepsilon \frac{\partial^2 T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t^2} + \frac{\partial T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{c_{\rho}\rho} \frac{\partial^2 T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial x^2} + \frac{q(x,t)}{c_{\rho}\rho}. \quad (8)$$

Согласно [11, стр. 119-120] и [24], будем искать частное решение уравнения (8) при заданных начальных условиях:

$$T_{2\varepsilon}(x,t) = 0, \quad \frac{\partial T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t} = 0 \text{ при } t = 0. \quad (9)$$

Решение уравнения (8) будем искать в виде

$$T_{2\varepsilon}(x,t) = \int_0^t Q_{\varepsilon}(x,t,\tau) d\tau. \quad (10)$$

Действительно, по правилу дифференцирования интеграла с переменным верхним пределом по параметру находим:

$$\frac{\partial T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t} = Q_{\varepsilon}(x,t,\tau)|_{\tau=t} + \int_0^t \frac{\partial Q_{\varepsilon}(x,t,\tau)}{\partial t} d\tau. \quad (11)$$

Воспользовавшись условием (9), имеем:

$$Q_{\varepsilon}(x,t,\tau)|_{\tau=t} = 0. \quad (12)$$

Так как при  $t=0$ ,  $\frac{\partial T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t} = 0$  и  $\int_0^t \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} d\tau = 0$ , тогда выполняется равенство (12). Следовательно

$$\frac{\partial T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t} = \int_0^t \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} d\tau. \quad (13)$$

Из выражений (12) и (13) следует, что  $T_{2\varepsilon}(x,t)$  вида (10) удовлетворяет нулевое начальное распределение температуры во всем пространстве. Дифференцируя выражение (13) еще раз, получаем:

$$\frac{\partial^2 T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} \Big|_{\tau=t} + \int_0^t \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t^2} d\tau. \quad (14)$$

Аналогично, дифференцируя выражение (10) два раза по параметру  $x$ , получаем:

$$\frac{\partial^2 T_{2\varepsilon}(x,t)}{\partial x^2} = \int_0^t \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial x^2} d\tau. \quad (15)$$

Полученные результаты дифференцирования функции  $T_{2\varepsilon}(x,t)$  вида (10) в уравнении (8), то есть подставляя выражения (13), (14) и (15) в (8), получим следующее уравнение

$$\varepsilon \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} \Big|_{\tau=t} + \int_0^t \left( \varepsilon \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t^2} + \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial x^2} \right) d\tau = \frac{q(x,t)}{\rho c \rho} \quad (16)$$

Если в последнем выражении интегральное слагаемое равно нулю, то есть выполняется

$$\int_0^t \left( \varepsilon \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t^2} + \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} - \beta \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial x^2} \right) d\tau = 0, \quad (17)$$

тогда из (16) следует, что

$$\varepsilon \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} \Big|_{\tau=t} = \frac{q(x,t)}{\rho c \rho}. \quad (18)$$

Таким образом, для модельного представления аналитического решения неоднородного уравнения (8) с нулевыми начальными условиями (9), то есть для нахождения  $T_{2\varepsilon}(x,t)$  мы получили дифференциальное уравнение

$$\varepsilon \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t^2} + \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} = \beta \frac{\partial^2 Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial x^2} \quad (19)$$

с начальными условиями

$$Q_\varepsilon(x,t,\tau) \Big|_{\tau=t} = 0, \quad \varepsilon \frac{\partial Q_\varepsilon(x,t,\tau)}{\partial t} \Big|_{\tau=t} = \frac{q(x,t)}{\rho c \rho}. \quad (20)$$

Согласно [1,2], решение задачи (19)-(20) можно представито в виде

$$Q_{\varepsilon}(x, t, \tau) = \frac{1}{\rho c_{\rho} \beta \sqrt{t \pi}} \int_{-\infty}^{\infty} q(z, \tau) \exp\left(-\frac{(z-x)^2}{4\beta^2 t}\right) dz +$$

$$+ \frac{\varepsilon \beta}{4\rho c_{\rho} \sqrt{t \pi}} \exp\left(-\frac{t}{\varepsilon}\right) \int_{-\infty}^{\infty} q(z, \tau) \exp\left(-\frac{(z-x)^2}{4\beta^2 t}\right) \left[1 + \frac{(z-x)^2}{\beta^3 t \sqrt{t}}\right] dz. \quad (21)$$

Таким образом, общее аналитическое решение уравнения (1) с начальными условиями (2) можно представить в виде

$$T_{\varepsilon}(x, t) = T_{I\varepsilon}(x, t) + \int_0^t Q_{\varepsilon}(x, t, \tau) d\tau. \quad (22)$$

Из выражений (21) и (22) видно, что в рассматриваемом случае характер зависимости распределения температуры от постоянного внешнего источника тепла в теле и от длительности времени имеет сложный вид. Поэтому для наглядной интерпретации характера зависимости температуры тела от постоянного внешнего источника тепла и длительности времени необходимо проведение численных расчетов.

#### 4. Вычислительный эксперимент

Исследование процессов нестационарной теплопроводности является сложной проблемой, если рассматривается нестационарный теплообмен с учетом конечной скорости распространения тепла под внешним воздействием. При исследовании высокоинтенсивных тепловых нестационарных процессов необходимо учитывать тот факт, что теплота распространяется, хотя и с довольно большой, но конечной скоростью. Эти обстоятельства заставляют при определении температурного состояния тела учитывать конечную скорость распространения тепла с использованием сингулярного возмущенного уравнения теплопроводности [1,2]. В связи с вышеизложенным, представляет большой научный и практический интерес компьютерное моделирование процессов нагрева конденсированных сред в неограниченной среде при наличии констант источника на основе обобщенного закона теплопроводности с учетом температурной зависимости теплофизических характеристик.

Для наглядной геометрической интерпретации, а также для всестороннего анализа свойств распределения температуры в неограниченной среде при наличии констант

источника  $q(x, t) = \frac{q_{max}}{\tau \rho c_{\rho}} (t - \tau) t$  где  $q_{max}$  - максимальное значение плотности

теплового потока,  $\left(10^{13} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$ ;  $\tau = 5 \cdot 10^{-11} \text{с}$  - длительность импульса, проведем

численные расчеты по выражениям (6), (7) и (22).

Рассмотрим случай нормального падения тепла на поверхность среды. В качестве примера для численных расчётов выбираем алюминиевый сплав Al-Si (87% Al; 13%

$$\text{Si } \beta = 7,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \lambda = 163,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}; \rho = 2660 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad c_{\rho} = 871 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$\varepsilon = 0,000118 \text{с}$ ;  $T_0 = 20^0 \text{С} (293\text{К})$ . Эти параметры выбраны из справочников [25, 26].

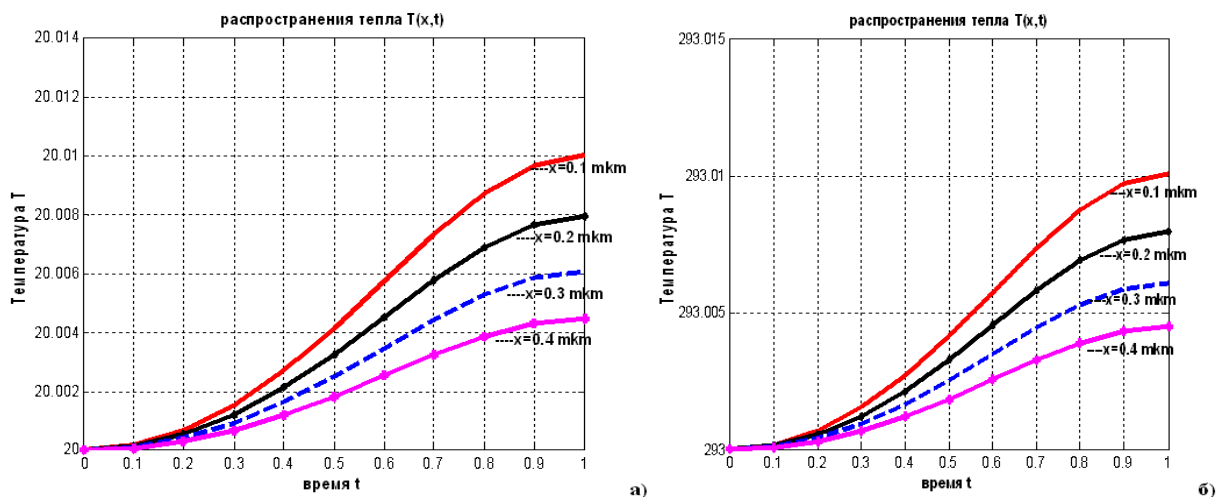
На рис. 1 а) и б) представлены результаты численных расчетов распределения температуры от времени для различных значений толщин слоя среды при начальных

значениях  $T_0 = 20^0\text{C}$  и  $T_0 = 293\text{K}$ , соответственно. Кривая  $x = 0.1\text{mkm}$  показывает ход распространения тепла от времени на поверхности в глубине 0.1 микро метр, а кривая  $x = 0.2\text{mkm}$ ;  $0.3\text{mkm}$ ;  $0.4\text{mkm}$  соответствует ходу распространения тепла от времени на эту глубину слоя.

На рис. 2 а) и б) приведены результаты численных расчетов, полученных в работах [10, 11, 27, 28]. В работах [27, 28] был проведен расчет температурного поля в молибденовом образце, температурные зависимости свойств которого имеют вид полиномов, полученных на основе табличных данных методом наименьших квадратов. В работы [10, 11] были проведены вычислительные эксперименты распространения тепла в образце сталь 40Х, характер температурных зависимостей которого имеет вид ряда Фурье, полученного методом искусственной гиперболизации.

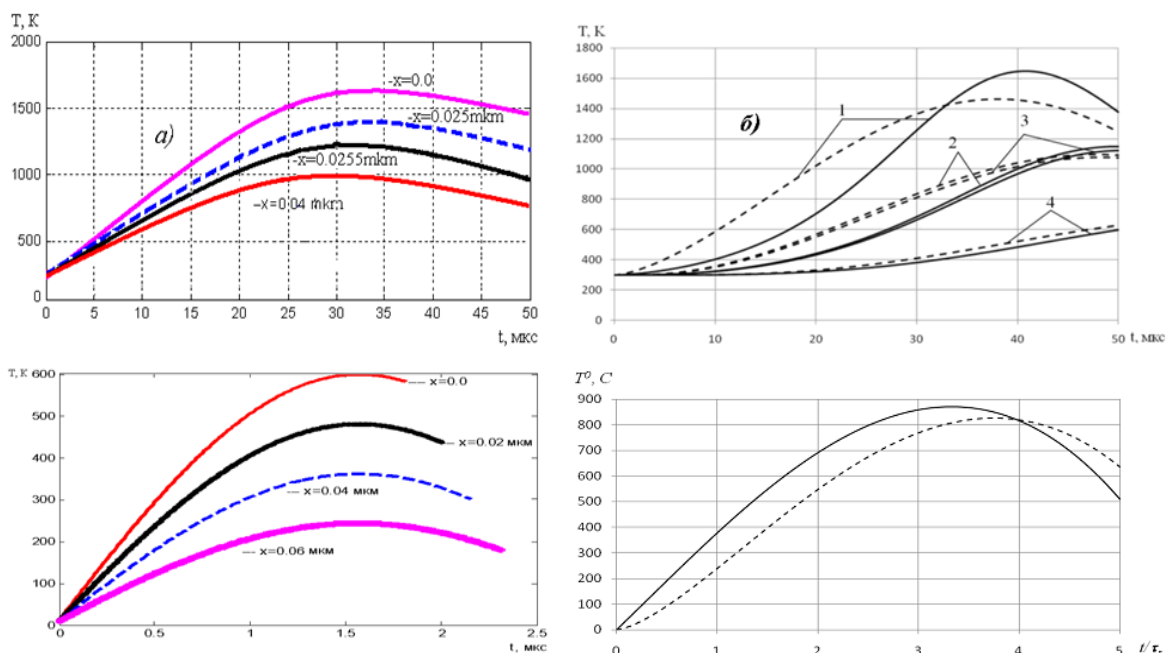
**Рисунок 1. Распространение температуры от времени в алюминиевом сплаве: а) начальное значение температуры  $T_0 = 20^0\text{C}$ ; б) начальное значение температуры  $T_0 = 293\text{K}$**

**Figure 1. The distribution of temperature over time in an aluminum alloy: а) initial temperature values  $T_0 = 20^0\text{C}$ ; б) initial temperature value  $T_0 = 293\text{K}$**



**Рисунок 2. Изменение распределения температуры от времени действия при различных значениях толщины слоев проникновения тепла:  $x = 0$ ; 2-при  $x = 0,025\text{мкм}$ ; 3-при  $x = 0,0255\text{мкм}$ ; 4-при  $x = 0,04\text{мкм}$ . а) результаты численного расчета по [10, 11]; б) результаты работы [27]**

**Figure 2. Change in temperature distribution from the time of action for different thicknesses of heat penetration layers:  $x = 0$ ; 2-at  $x = 0,025\text{ }\mu\text{m}$ ; 3-at  $x = 0,0255\text{ }\mu\text{m}$ ; 4-at  $x = 0,04\text{ }\mu\text{m}$ . а) results of numerical calculation according to [10, 11]; б) results of work [27]**



Из рис. 1 а) и б) видно, что ход распространения тепла по мере возрастания времени в каждом слое тело имеет нелинейные характеристики и с ростом глубины слоя  $x$  он медленно уменьшается.

Таким образом, сингулярные возмущенные температурные поля, приведенные на рис. 1 и 2, соответствующие нелинейным и линейным задачам, как и температурные поля, рассчитанные для однородного и неоднородного, существенно отличаются между собой, поэтому учет температурной зависимости теплофизических характеристик и поглотительной способности также крайне необходим при модельном представлении тепловых процессов при воздействии наличия постоянного источника на многослойные тела. Из сравнения этих рисунков следует, что результаты расчётов по (6), (21) и (22) качественно совпадают с результатами работ [10, 11, 24, 27].

## 5. Заключение

При модельном представлении аналитического решения начальных задач для нестационарных явлений теплообмена в конденсированных средах при наличии постоянного источника применяется метод интегрального преобразования Фурье. Основную роль здесь играет требование функции, удовлетворяющей свойствам сходимости интеграла Фурье, в котором начальная функция задана на всей прямой.

В основе этого приложения лежит тот факт, что интегральное преобразование Фурье переводит оператор дифференцирования в более простой оператор умножения на независимую переменную. С помощью интегрального преобразования Фурье найдено аналитическое решение сингулярного возмущенного уравнения теплопроводности, близкое к решению невозмущенного уравнения теплопроводности.

Результаты вычислительного эксперимента нестационарных явлений теплообмена в конденсированных средах при наличии постоянного источника, соответствующие нелинейным и линейным задачам, а также для однородного и неоднородного распространения температуры, существенно отличаются между собой и с возрастанием времени температуры нелинейно возрастают.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джураев, Х.Ш. Отыскание решений сингулярно-возмущенных нестационарных процессов теплопереноса в неограниченных средах методом интегрального преобразования Фурье / Х.Ш. Джураев, Ш.Д. Ниёзов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. – №4. – С.183-193.
2. Джураев, Х.Ш. Сингулярно-возмущенные нестационарные процессы теплопереноса в неограниченных средах: математические модели начальных задач / Х.Ш. Джураев, Ш.Д. Ниёзов // 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, члена-корреспондента Национальной академии наук Таджикистана, доктора физико-математических наук, профессора Бобоева Тошбоя Бобоевича (27 октября 2022 года). – Душанбе: Изд-во ТНУ, 2022. – С.110-112.
3. Соболев, С.Л. Процессы переноса и бегущие волны в локально-неравновесных системах / С.Л. Соболев // Успех физических наук. – 1991. – Т.161. – №3. – С.5-29.
4. Соболев, С.Л. Локально-неравновесные модели процессов переноса / С.Л. Соболев // Успех физических наук. – 1997. – Т.167. – №10. – С.1095-1106.
5. Корнеев, С.А. Гиперболические уравнения теплопроводности / С.А. Корнеев // Известия РАН. Серия Энергетика. – 2001. – №4. – С.117-125.
6. Карташев, Э.М. Новые интегральные соотношения в теории нестационарного теплопереноса на основе уравнения гиперболического типа / Э.М. Карташев, О.И. Ремизова // Известия РАН. Серия Энергетика. – 2002. – №3. – С.146-156.
7. Жукова, О.Г. Граничное управление процессом теплопереноса в одномерном материале. Гиперболическая модель / О.Г. Жукова, Р.К. Романовский // Дифференциальные уравнения. – 2007. – Т.43. – №5. – С. 650-654.
8. Джураев, Х.Ш. Стационарное распределение тепла с помощью математической модели процесса теплопроводности / Х.Ш. Джураев // Проблемы автоматизации и управления. ИАИТ НАН КР. – 2017. – №2(33). – С.10-20.
9. Комилов, К. Исследование теплопроводности в неограниченных средах методом искусственной гиперболизации / К. Комилов, Х.Ш. Джураев, З.С. Норматов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – №1/4 (168). – С.75-82.
10. Джураев, Х.Ш. Исследование процессов тепло и массопереноса в конденсированных средах методом искусственной гиперболизации / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов. – Душанбе: Сино, 2019. – 101 с.
11. Джураев, Х.Ш. Явления переноса энергии и массы в конденсированных средах: математическое моделирование, оптимизация, практические приложения: Монография / Х.Ш. Джураев. – Душанбе: ЭР-граф, 2021. – 236 с.
12. Васильева, А.Б. Сингулярно-возмущенные уравнения в критических случаях / А.Б. Васильева, В.Ф. Бутузов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 108 с.
13. Боголюбов, Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.Ф. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 410 с.
14. Скляр, С.Н. Проекционный метод построения разностных схем для задач с пограничными слоями / С.Н. Скляр, Ж.Ж. Бакиров // Известия НАН Кыргызской Республики. Эхо науки. – 1997. – №2-3. – С. 36-47.
15. Крутов, Ю.М. Моделирование горения пылевидной коксовой частицы в присутствии водяного пара / Ю.М. Крутов, Д.В. Решетняк, И.И. Токарев // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – №5 (111). – С.47-57.
16. Шепакина, Е.А. Критические условия самовоспламенения в пористой среде / Е.А. Шепакина // Химическая физика. – 2001. – №7. – С.3-9.
17. Джураева, Г.Х. Исследование математических моделей и соответствующих краевых задач с сингулярными коэффициентами. Монография / Г.Х. Джураева. – Душанбе: ЭР-граф, 2021. – 100 с.
18. 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.
19. Васильева, А.Б. Асимптотические разложения решений сингулярно - возмущенных уравнений / А.Б. Васильева, В.Ф. Бутузов. – М.: Наука, 1973. – 270 с.
20. Ломов, С.А. Введение в общую теорию сингулярных возмущений. – М.: Наука, 1981. – 400 с.
21. Джураев, Х.Ш. О решениях задачи Коши для сингулярно - возмущенных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами / Х.Ш. Джураев //

- Матер. I I между. науч. кон. «Перспективы развития науки и образования в XXI веке». Часть 2. – Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 2006. – С.21-23.
22. Алиев, Б. О корнях сингулярно-возмущенных алгебраических уравнений / Б. Алиев, Х.Ш. Джураев // Док. АН РТ. – 2004. – Т. 47. – №4. – С.92-98.
  23. Арсенин, В.Я. Методы математической физики и специальные функции / В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1984. – 384 с.
  24. Джураев, Х.Ш. Исследование распространения теплового порога в неограниченной среде при наличии внешнего источника / Х.Ш. Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов // Научно-технический вестник Поволжья. –2015. – №6. – С.10-13.
  25. Волков, А.И. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – 608 с.
  26. Бухмиров, В.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, Ю.С. Солнышкова. –Иваново: ГОУВПО Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2009. –102 с.
  27. Mehdi Jadidi. Non-Fourier heat conduction in a long cylindrical media with insulated boundaries and arbitrary conditions / Jadidi Mehdi // Australian journal of basic and applied sciences. – 2009. – No 3(2). – Pp. 652-663.
  28. Малая, Ю.А. Математическое моделирование тепловых процессов при лазерной обработке материалов на основе нелинейного гиперболического уравнения теплопроводности / Ю.А. Малая, А.И. Губин // Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика: сборник научных трудов. – Вып.3. – Днепропетровск: Новая идеология, 2011. – С.72-86.

#### REFERENCES

1. Juraev, Kh.Sh. Algorithm for finding solutions to singularly perturbed unsteady heat transfer processes in unbounded media by the method of integral Fourier transform / Kh.Sh. Juraev, Sh.D. Niyozov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2022. – No 4. – Pp. 183-193.
2. Juraev, Kh.Sh. Singularly perturbed non-stationary heat transfer processes in unlimited media: mathematical models of initial problems / Kh.Sh. Juraev, Sh.D. Niyozov // Proceedings of the International Conference on the theme "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 (October 27, 2022). – Dushanbe: TNU Publishing House, 2022. – 225 p.
3. Sobolev, S.L. Transport processes and traveling waves in locally nonequilibrium systems / S.L. Sobolev // Uspek Fizicheskikh Nauk. –1991. –Vol.161. – No 3. – Pp.5-29.
4. Sobolev, S.L. Lrkalno-nonequilibrium models of transfer processes / S.L. Sobolev // Uspek Fizicheskikh Nauk. – 1997. – Vol.167. – No.10. – Pp.1095-1106.
5. Korneev, S.A. Hyperbolic equations of heat conduction / S.A. Korneev // Izvestiya of RAN. Series of Energy. – 2001. – No. 4. – Pp .117-125.
6. Kartashev, E.M. New integral relations in the theory of non-stationary heat transfer based on the hyperbolic type equation / E.M. Kartashev, O.I. Remizova // Izvestiya of RAN. Series of Energy. – 2002. – No.3. – Pp. 146-156.
7. Zhukova, O.G. Goanic control of the heat transfer process in a one-dimensional material. hyperbolic model / O.G. Zhukov, R.K. Romanovsky // Differential Equations. – 2007. – Vol. 43. – No 5. – Pp.650-654.
8. Juraev, Kh.Sh. Stationary heat distribution using a mathematical model of the heat conduction process / Kh.Sh. Juraev // Problems of automation and control. IAIT NAS KR. – 2017. – No.2(33). – Pp. 10-20.
9. Komilov, K. Investigation of thermal conductivity in unlimited media by the method of artificial hyperbolization / T.O. Komilov, Kh.Sh. Dzhuraev, Z.S. Normatov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2015. – No 1/4 (168). – Pp.75-82.
10. Dzhuraev, Kh.Sh. Study of the process of heat and mass transfer in condensed media by the method of artificial hyperbolization: Monograph / Kh.Sh. Dzhuraev, K.Komilov, Z.S. Normatov. – Dushanbe: Sino, 2019. – 101 p.
11. Dzhuraev, Kh.Sh. Phenomena of energy and mass transfer in condensed media: mathematical modeling, optimization, practical applications: Monograph / Kh.Sh. Dzhuraev. – Dushanbe: ER-graph, 2021. – 236 p.
12. Vasilyeva, A.B. Singularly perturbed equations in critical cases / A.B. Vasilyeva, V.F. Butuzov. – М.: Publishing House of Moscow State University, 1987. –108 p.
13. Bogolyubov, N.N. Asymptotic Methods in the Theory of Nonlinear Oscillations / N.N. Bogolyubov, Yu.F. Mitropolsky. – М.: Nauka, 1974. – 410 p.



14. 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.
15. 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.
16. Shepakina E.A. Critical conditions of self-ignition in a porous medium. /E.A. Shepakina // Chemical Physics. – 2001. – No.7. – Pp.3-9.
17. 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.
18. 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.
19. Vasilyeva, A.B. Asymptotic expansions for the solution of singularly perturbed equations / A.B. Vasilyeva, V.F. Butuzov. – M.: Nauka, 1973. – 270 p.
20. Lomov, S.A. Introduction to the general theory of singular perturbations / S.A. Lomov. – M.: Nauka, 1981. – 400 p.
21. Dzhuraev, Kh.Sh. On solutions of the Cauchy problem for singularly perturbed second-order ordinary differential equations with constant coefficients / Kh.Sh. Dzhuraev // Proceedings of the II International Conference "Prospects for the development of science and education in the XXI century." – Dushanbe: Publishing House of TSU named after M.S. Osimi, 2006. – Pp. 21-23.
22. Aliev, B. On the roots of singularly perturbed algebraic equations / B. Aliev, Kh.Sh. Dzhuraev // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2004. – Vol.47. – No. 4. – Pp.92-98.
23. Arsenin, V.Ya. Methods of mathematical physics and special functions / V.Ya. Arsenin. – M.: Nauka, 1984. – 384 p.
24. Juraev, Kh.Sh. Investigation of the distribution of the thermal threshold in an unrestricted environment in the presence of an external source / Kh.Sh. Juraev, K. Komilov, Z.S. Normatov // Scientific and technical bulletin of the Volga region. – 2015. – No 6. – Pp.10-13.
25. Volkov, A.I. Big chemical reference book / A.I. Volkov, I.M. Zharsky. – Minsk: Modern School, 2005. – 608 p.
26. Bukhmirov, V.V. Reference materials for solving problems at the course "Eplomass exchange" / V.V. Bukhmirov, D.V. Rakutina, Yu.S. Solnyshkov. –Ivanovo: Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin, 2009. – 102 p.
27. Jadidi, M. Non-Fourier heat conduction in a long cylindrical media with insulated boundaries and arbitrary conditions / M. Jadidi // Australian journal of basic and applied sciences. – 2009. – No 3(2). – Pp. 652-663.
28. Malaya, Y.A. Mathematical modeling of thermal processes during laser processing of materials based on the nonlinear hyperbolic equation of heat conduction / Y.A. Malaya, A.I. Gubin // Technical thermal physics and industrial thermal power engineering: a collection of scientific papers. – Issue 3. – Dnepropetrovsk: New ideology, 2011. – Pp.72-86.

**ПЕШНИҲОДИ МОДЕЛИИ ҲАЛЛИ ОШУБИ СИНГУЛЯРИИ ҲОДИСАИ  
ҒАЙРИСТАТСИОНАРИИ ТАБАДУЛОТИ ГАРМӢ ДАР МУҲИТИ НОМАҲДУД ҲАНГОМИ  
МАВҶУД БУДАНИ МАНБАӢҲОИ ДОИМИИ БЕРУНА БО УСУЛИ ТАБДИЛДИҲИИ  
ИНТЕГРАЛИИ ФУРӢЕ**

Моделӣ ҳалли тахминии аналитики масъалаи ибтидоӣ муодилаи сингулярии ошубии равандҳои табадулоти гармӣ ғайриватсионарӣ ҳангоми мавҷуд будани манбаъҳои доимии беруна, ки ба ҳалли масъалаи ибтидоии муодилаи ғайриошубӣ наздиканд бо истифода аз усули табдилдиҳии интегралӣ Фурье, пешниҳод карда шудаанд. Масъалаи асосии таҳқиқот, ки сохтори мақоларо муайян мекунад: таҳияи моделҳои математикӣ ва компютерӣ зухуроти ғайриватсионарӣ табадулоти гармӣ бо манбаъҳои доимии ибтидоӣ мебошад. Натиҷаҳои бадастомада бо таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ паҳншавии гармӣ дар мавриди ҷой доштани манбаъҳои доимӣ дар муҳити конденсӣ шарҳ дода шудааст. Ҳангоми гузаронидани таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ мо маълумотҳои шиносномаи дар адабиёт мавҷударо барои яке аз масъалаҳои маъмулӣ истифода бурдем. Дар асоси натиҷаҳои бадастомада метавон хулоса кард, ки бо зиёд шудани дарозии намуна ҳарорати муҳит бе тағйир мемонад ва гармигузаронӣ бо мавҷудияти киматҳои ибтидоии қабатҳо мувофиқати сифатӣ дорад бо маълумоти дар адабиёт нишондодашуда.

**Калидвожаҳо:** гармӣ, ҳарорат, ошубӣ-сингулярӣ, параметри хурд, усули ҳамвории фазавӣ, қабатҳои сарҳадӣ ва гузариш, сели гармӣ.

## МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ СИНГУЛЯРНЫХ ВОЗМУЩЕННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ТЕПЛООБМЕНА В НЕОГРАНИЧЕННЫХ СРЕДАХ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕГО ПОСТОЯННОГО ИСТОЧНИКА МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Представлен модельный метод представления приближенных аналитических решений начальных задач сингулярных возмущенных уравнений нестационарного процесса теплопередачи при наличии внешних постоянных источников, близких к решению исходной задачи для невозмущенного уравнения с использованием метода интегрального преобразования Фурье. Исследуются основные задачи, определяющие структуру статьи: разработка математической и компьютерной моделей явления нестационарного теплообмена с исходными постоянными источниками. Дана интерпретация полученных результатов численных экспериментов по распространению тепла при наличии постоянных источников в конденсированной среде. При проведении численных экспериментов для одной из типичных задач использовались паспортные данные, имеющиеся в литературе. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что с увеличением длины образца температура среды остается неизменной, а теплопроводность иллюстрируется наличием начальных значений слоев и качественным соответствием литературным данным.

**Ключевые слова:** тепло, температура, сингулярное возмущение, малый параметр, метод фазовой плоскости, пограничный и переходный слой, тепловой поток.

## MODEL REPRESENTATION OF SOLUTIONS TO SINGULAR PERTURBED NONSTATIONARY PHENOMENON HEAT TRANSFER IN UNLIMITED MEDIA IN THE PRESENCE OF AN EXTERNAL CONSTANT SOURCE BY THE METHOD OF INTEGRATED FOURIER TRANSFORM

A model method is presented for the representation of approximate analytical solutions to the initial problems of singularly perturbed equations of a non-stationary heat transfer process in the presence of external constant sources close to the solution of the original problem for an undisturbed equation using the method of the integral Fourier transform. The main tasks defining the structure of the article are investigated: the development of mathematical and computer models of the phenomenon of unsteady heat transfer with initial constant sources. The interpretation of the obtained results of numerical experiments on heat propagation in the presence of permanent sources in a condensed medium is given. When conducting numerical experiments, passport data available in the literature were used for one of the typical tasks. Based on the results obtained, it can be concluded that with an increase in the length of the sample, the temperature of the medium remains unchanged, and the thermal conductivity is illustrated by the presence of initial values of the layers and qualitative compliance with the literature data.

**Keywords:** heat, temperature, singular perturbation, small parameter, phase plane method, boundary and transition layers, heat flow.

*Маълумот дар бораи муаллифон:* **Ҷӯраев Хайрулло Шарофович** – доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳои Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 917-30-70-60. **E-mail:** hayrullo\_58@mail.ru.

**Ниёзов Шокир Давлатович**– ассистенти кафедраи таҳлили математикӣ ва назарияи функсияҳои факултети физика ва математикаи Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи Абуабдуллоҳи Рӯдакӣ. **Суроға:** 735360, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Қӯлоб, кӯчаи С. Сафаров, 16. **Телефон:** (+992) 988-87-96-45. **E-mail:** ddkns1984@mail.ru.

*Сведения об авторах:* **Джурев Хайрулло Шарофович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры вычислительных машин, систем и сетей Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 917-30-70-60. **E-mail:** hayrullo\_58@mail.ru.

**Ниёзов Шокир Давлатович** – ассистент кафедры математического анализа и теории функций физико-математического факультета Кулябского государственного университета им. Абуабдуллоха Рудаки. **Адрес:** 735360, 193 Республика Таджикистан, г. Куляб, улица С.Сафарова, 16. **Телефон:** (+992) 988-87-96-45. **E-mail:** ddkns1984@mail.ru.

*Information about the authors:* **Juraev Khayrullo Sharofovich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Computing Machines, Systems and Networks of Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 917-30-70-60. **E-mail:** hayrullo\_58@mail.ru.

**Niyzov Shokir Davlatovich**– Assistant of the Department of Mathematical Analysis and Theory of Functions of Faculty of Physical and Mathematical of KulobState University named after Abuabdulloh Rudaki.

**Address:** 735360, Republic of Tajikistan, Kulob, S. Safarov Street, 16. **Phone:** (+992) 988-87-96-45. **E-mail:** ddkns1984@mail.ru.

**Рецензент:** Солихов Д.К. – доктор физико-математических наук, профессор Таджикского национального университета

## ФИЗИКА

ТДУ: 37.01.82.915.50

### ТАДҚИҚИ ЧАСПАКӢ ВА МУҚОВИМАТИ ХОСИ МАҲЛУЛҲОИ ОБӢ

<sup>1</sup>Султонов Н., <sup>1</sup>Ҳукматов А., <sup>2</sup>Нозимов О., <sup>1</sup>Содиқов Ф.  
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Об дар табиат дар шакли пайвастагии поки химиявӣ дучор намеояд. Ҳамчун ҳалкунандаи универсалӣ буда, доимо миқдори зиёди унсурҳо ва пайвастагиҳоро соҳиб мебошад, ки таркиб ва таносуби онҳо бо шартҳои ҳосилшавии об, таркиби ҷинсҳои обиро муайян мекунад. Об, ҳок ва ҷинсҳоро вайрон намуда, на танҳо зарраҳоро мешӯяд, балки баъзе ҷузҳои онҳоро ҳал мекунад. Ба ғайр аз ин мавҷудияти муассисаҳои калони саноатӣ, истифодаи моддаҳои химиявӣ дар хоҷагии халқ ва дигар омилҳо ба ифлосшавии манбаъҳои табиӣ об оварда мерасонад. Мавҷудияти зарраҳои муаллақи дисперсӣ (оби тира), намакҳо, моддаҳои ҳалшавандаи органикӣ ва ғайриорганикӣ на танҳо ба сифати оби нӯшокӣ, ки нишондиҳандаи он рН мебошад, балки ба параметрҳои физикии об, ба монанди коэффисенти часпакӣ ( $\eta$ ), муқовимати хос ( $\rho$ ), зиччӣ ( $d$ ), коэффисенти кашиши сатҳӣ ( $\sigma$ ), ҳарорати ҷӯшиш ( $t_c$ ) ва амсоли инҳо таъсир мекунад. Коэффисенти часпакӣ ва муқовимати хоси об параметрҳоеанд, ки онҳоро ҳамчун нишондоди тозагии об аз пайвастагиҳои гуногун, аз ҷумла намакҳо, қабул кардан мумкин аст [1-4].

Мақсади кори мазкур тадқиқи часпакӣ ва муқовимати хоси маҳлулҳои обӣ вобаста аз ҳарорат ва консентратсияи обҳои тира (лой) мебошад.

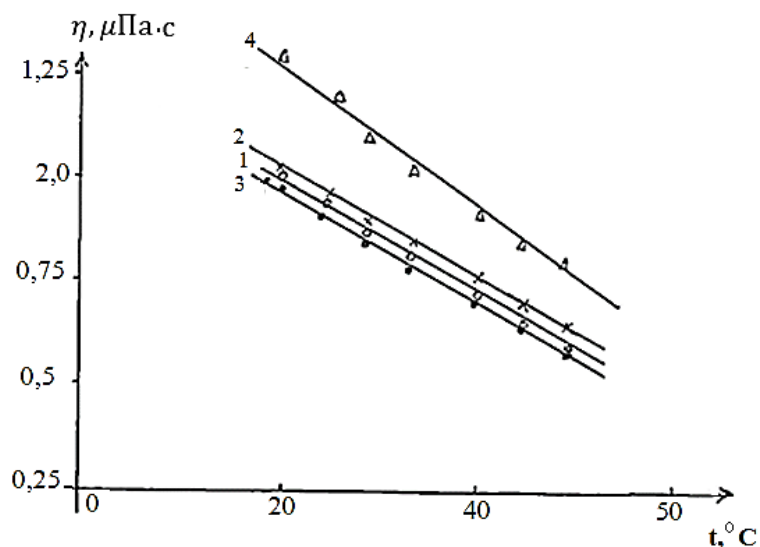
Ба сифати объекти омӯзиш оби лой бо консентратсияҳои гуногуни зарраҳои муаллақ истифода шудааст. Оби лойи дарёчаи Лучобро бугронӣ карда хокаи тағшоншударо чун намунаи ибтидоӣ мавриди истифода қарор додем. Хокаро дар оби пок ҳал карда консентратсияҳои гуногуни оби лойро ҳосил кардем. Ҳамчун консентратсияи ибтидоӣ оби тираи ҷӯйи консентратсияш 2 г/л низ истифода бурда шудааст. Обро ба таври даврӣ бухор намуда, консентратсияи 4 г/л; 8 г/л ва 12 г/л ва ғайра ҳосил карда шуд.

Дар расми 1 вобастагии коэффисенти часпакии обҳои нӯшокӣ аз ҳарорат оварда шудааст. Аз он дида мешавад, ки бо афзоиши ҳарорат часпакии тамоми обҳои нӯшокӣ аз рӯи қонуни хаттӣ кам мешавад. Чунин тағйирёбӣ эҳтимол бо он алоқаманд бошад, ки бо афзудани ҳарорат ҳамтаъсири байнимолекулавӣ аз сабаби васеъшавии ҳароратӣ, инчунин зиёдшавии ҳаракати молекулаҳои об суст мешаванд. Аз график бармеояд, ки хатҳои рости  $\eta=f(t)$  барои обҳои шабакавӣ (коркардшуда ва коркарднашуда) ва обҳои шури чашмаи коркарднашуда ба ҳамдигар наздик ҷойгиранд, аммо хатти рости  $\eta=f(t)$  барои оби чашмаи коркардшуда ба соҳаи қиматҳои калони  $\eta$  кӯчидааст.

**Расми 1. Вобастагии коэффисенти часпакии обҳои нӯшокии гуногун аз ҳарорат: 1. оби шабакавӣ; 2. оби шабакавии коркардшуда, 3. оби чашма; 4. - оби чашмаи дар дастгоҳи “Тафсияи об” коркардшуда**

**Рисунок 1. Зависимость коэффициента вязкости различных питьевых вод от температуры: 1. водопроводная вода; 2. обработанная сетевая вода; 3. родниковая вода; 4. - родниковая вода, обработанная в установке "Водопитание"**

Figure 1. Dependence of the viscosity coefficient of different drinking waters on temperature: 1. mains water; 2. processed network water; 3. spring water; 4. - spring water processed in the device " Water heating"

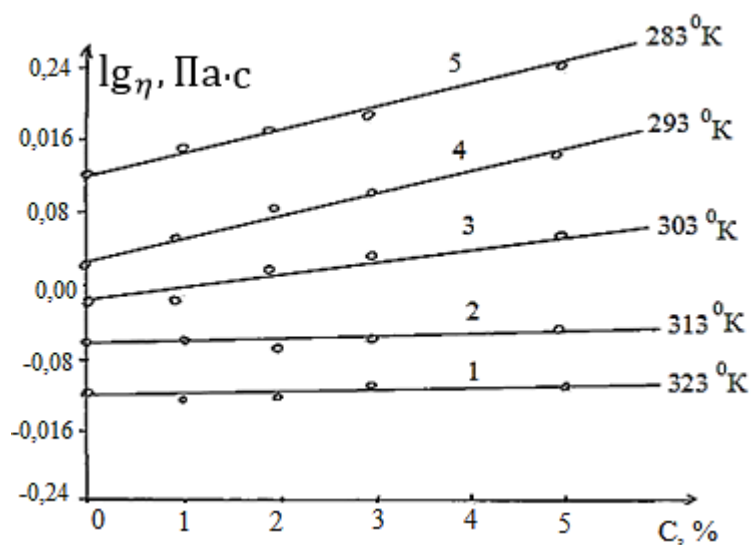


Дар расми 2. вобастагии логарифми коэффисенти часпакӣ аз концентратсияҳои гуногуни маҳлулҳои обӣ дар ҳароратҳои гуногун оварда шудааст.

Расми 2. Вобастагии логарифми коэффисенти часпакӣ аз концентратсияи маҳлулҳои обӣ дар ҳароратҳои 1-323; 2-313; 3-303; 4- 293 ва 5- 283°K

Рисунок 2. Зависимость логарифма коэффициента вязкости от концентрации водных растворов при температурах: 1-323; 2-313; 3-303; 4- 293 и 5- 283°K

Figure 2. Dependence of the logarithm of the viscosity coefficient on the concentration of aqueous solutions at temperatures: 1-323; 2-313; 3-303; 4- 293 and 5- 283°K



Дида мешавад, ки яқум, бо афзудани концентратсияи маҳлулҳои обӣ дар ҳамаи ҳароратҳо афзоиши коэффисенти часпакӣ ( $\eta$ ) мушоҳида карда мешавад ва

дуюм, бо афзоиши ҳарорат дар ҳамон як консентратсия афтиши коэффисенти часпакӣ ( $\eta$ ) ба амал меояд; барои ҳарорати 323 °К амалан ба сифр баробар аст, ки ба коҳиш ёфтани таъсири мутақобили қабатҳои моеъ алоқаманд аст.

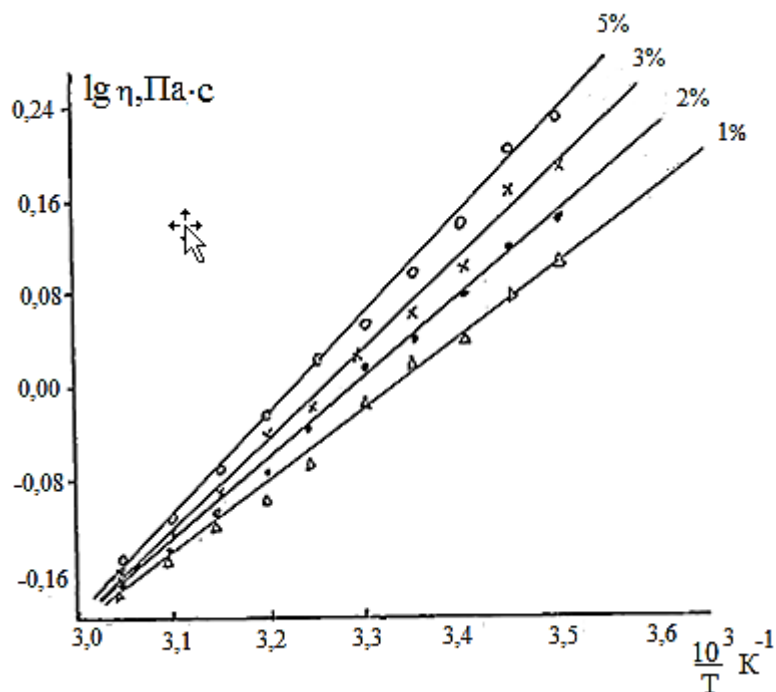
Дар расми 3 графикаи вобастагии  $\lg\eta=f(1/T)$  барои маҳлулҳои 1, 2, 3 ва 5 % оварда шудааст, ки хатҳои ростро мемунонд ва муодилаи Френкел-Эринг-Аррениусро [5] қаноат мекунонад:  $\lg\eta = A e^{U/KT}$

Ин ҷо  $U$ -энергияи озоди ҷоришавӣ,  $K$ -доими газӣ,  $T$ - ҳарорати мутлақ. Муодилаи Френкел-Эринг-Аррениус имкон медиҳад энергияи фаъолшавии ҷоришавии (активатсия) маҳлулҳои обӣ санҷида шавад. Энергияи фаъолшавии ҷоришавӣ бо бузургии энергияе, ки барои кӯчиши унсурҳои сохтор аз як ҳолат ба ҳолати дигар зарур аст, муайян карда мешавад. Дар маҳлулҳое, ки аз молекулаҳои хурд таркиб ёфтаанд, чунин унсурҳои ҳаракатнокӣ сохтор ҳуди молекулаҳои об мебошад ва аз ин рӯ ҳам коэффисенти часпакӣ ( $\eta$ ), ҳам энергияи фаъолгардии ҷоришавии часпанда ( $U$ ) на танҳо аз сохти молекулаҳои ҳалкунанда, балки аз консентратсияи зарраҳои муаллақ низ вобаста аст (расми 3).

**Расми 3. Вобастагии ҳароратии логарифми коэффисенти часпакии маҳлулҳои обӣ ҳангоми консентратсияҳои гуногун: 1%; 2%; 3% ва 5%**

**Рисунок 3. Логарифмическая температурная зависимость вязкости водных растворов при различных концентрациях: 1%; 2%; 3% и 5%**

**Figure 3. Logarithmic temperature dependence of viscosity of aqueous solutions at different concentrations: 1%; 2%; 3% and 5%**



Аз вобастагии ҳароратии часпакии маҳлулҳо (расми 3) тавассути муодилаи Аррениус энергияи фаъолшавии ҷоришавии маҳлулҳои обӣ муайян карда шуд, ки дар ҳудуди 2,25-4,5 ккал/мол меҳобад. Натиҷаҳои ба даст оварда нишон медиҳанд, ки маҳлулҳои оби лой ба дигар маҳлулҳои сода монанд аст.

Қимати хурди энергияи фаъолгардии ҷоришавии маҳлулҳои обӣ бо он алоқаманд аст, ки яқум зарраҳои муаллақ молекулаҳои обро лавҳагирӣ мекунад, дуюм имконоти сохторсозиро (пайдоиши гексамерҳо ва кластерҳо) дар об монӣ

мешавад. Қиматҳои ҳосилшудаи энергияи фаъолгарди бо тартиби бузургиҳо ба энергияи алоқаи байнимолекулӣ [6] наздик аст.

Дар қадвали 1 бузургии коэффисенти часпакӣ ( $\eta$ ), зичӣ ( $d$ ), коэффисенти кашиши сатҳӣ ( $\sigma$ ) ва ҳарорати ҷӯшиш ( $t_c$ ) барои обҳои нӯшокии қубур ва концентратсияҳои гуногуни зарраҳои муаллақ дар оби коркардшуда оварда шудааст.

Аз қадвал дида мешавад, ки бо афзоиши концентратсия дар маҳлул  $\eta$ ,  $d$ ,  $\sigma$  (бидуни  $C=3\%$ ) ва нишондоди гидрогенӣ рН меафзоянд, вале ҳарорати ҷӯшиш аз  $98^\circ$  ( $C=0$ ) то  $93^\circ$  ( $C=10\%$ ) меафтад. Коррелятсия байни коэффисенти часпакӣ ва зичӣ аз он шаҳодат медиҳад, ки афзоиши зичӣ бо сабаби бо об ворид гаштани зарраҳои вазнини лой, лағжиши қабатҳои лой нисбат ба якдигар (лағжиши қабатҳои маҳлул маҳз бузургии  $\eta$ -ро муайян мекунанд) суғ менамоянд, ки сабаби афзоиши  $\eta$  мегардад. Афзоиши концентратсияҳои лой аввало қисман таъсири байнимолекулии молекулаҳои обро (алақаҳои гидрогениро) коҳиш медиҳад, ки сабаби афтиши  $t_c$  мегардад ва дуюм афзоиши концентратсияи лой ба маҳлул намакҳои калий ва магнийро ворид менамояд, ки таносуби молҳои  $H^+$  ва  $OH^-$ -ро тағйир медиҳад, ки боиси қисман афзудани рН гаштааст.

**Қадвали 1. Қимати бузургиҳои коэффисенти часпакӣ, зичӣ, коэффисенти кашиши сатҳӣ, ҳарорати ҷӯшиш барои обҳои гуногуни нӯшокӣ ва концентратсияҳои зарраҳои муаллақ**

**Таблица 1. Значения вязкости, плотности, поверхностного натяжения, температуры кипения для различных питьевых вод и концентрации взвешенных частиц**

**Table 1. Viscosity, density, surface tension, boiling point values for various drinking waters and concentrations of suspended particles**

| Бузургиҳои физикӣ маҳлулҳо | $\eta$ , $\mu\text{Па}$ | $d$ , $\text{г/см}^3$ | $\sigma$ , $\text{Н/М}$ | рН  | $t_c$ , $^\circ\text{C}$ |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----|--------------------------|
| Оби шабака                 | 1,0220                  | 0,9966                | 79,34                   | 7,2 | 98                       |
| Оби шабакавии коркардшуда  | 1,0376                  | 0,9956                | 78,57                   | 6,8 | 98                       |
| Маҳлули 1%-и обӣ           | 1,0922                  | 1,0032                | 79,20                   | 7,0 | 97                       |
| Маҳлули 3%-и обӣ           | 1,2463                  | 1,0083                | 82,2                    | 8,0 | 96                       |
| Маҳлули 5%-и обӣ           | 1,3162                  | 1,0164                | 81,86                   | 8,2 | 95                       |
| Маҳлули 10%-и обӣ          | -                       | -                     | -                       | -   | 93                       |

Ҳамин тариқ, тағйироти параметрҳои чен карда шуда бо тағйирёбии қувваҳои байнимолекулавии гидрогенӣ, ҳангоми тағйирёбии концентратсияи зарраҳои муаллақ дар маҳлулҳои обӣ алоқаманд аст.

Обро дар дастгоҳи “Тафсияи об” бо усули электрофлотатсия пок намудем [7-8], бо таъсири ҷараёни электрӣ таҷзияи (дисотсиятсияи) молекулаҳои об, ки байни электродҳо ҷойгиранд ба амал меоянд, яъне об ба ионҳои гидроген ва оксиген ҷудо мешавад. Дар натиҷа дар назди анод ҳубобчаҳои оксиген ва дар назди катод ҳубобчаҳои гидроген пайдо мешаванд. Минбаъд ҳубобчаҳо аз электродҳо ҷанда шуда, ба боло мебароянд ва бо зарраҳои муаллақ бархурда, ба сатҳи об мебароранд. Ҳангоми флотатсия нақши асосиро асосан ҳубобчаҳои гидроген, бинобар сабукиашон, мебозанд [8].

Часпакии обҳои гуногуни нӯшокӣ ва маҳлулҳои обӣ бо вискозиметри капиллярӣ муайян карда шуданд. Вискозиметри капиллярӣ усули маъмули муайянкунии часпакии моеъи массааш маълум дар фишори  $P=714,5$  мм.ст. симобӣ

мебошад. Аз ин рӯ барои муайян намудани коэффисенти часпакии ( $\eta$ ) обҳои нӯшокии гуногун ва маҳлулҳои оби муодилаи Пуайзел истифода бурда шуд [9,10]:

**Хосиятҳои электрии маҳлулҳои оби.** Дарачаи тозагии обҳо ба дуруштии ва ғализии онҳо вобаста аст, яъне ҳар қадар таркиби об аз намакҳои маъдан бой бошад, ҳамон қадар дуруштии он зиёд мешавад.

Истеъмоли обе, ки дар он дараҷаи омехтагии бикарбонати калсий ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) ба 170 мг/л мерасад, ба пайдоиши касалиҳои гуногун бурда мерасонад [11]. Ҳангоми муайян кардани сифати обҳои табиӣ нишондиҳандаҳои он: -ҳарорат, миқдори зарраҳо, ташкилаҳо, хирағӣ, туршӣ, дуруштии, муқовимати электрии, миқдори оксиген ва ғайра ба эътибор гирифта мешавад. Байни усулҳои омӯзиши хосиятҳои об барои таҳқиқи нишондодҳои оварда ҳасостаринаш усули омӯзиши муқовимати хоси электрии аст. Таъсири моддаҳои таркиби маҳлули оби ба муқовимати электрии мукамал омехта нашудааст. Ин усул имкон медиҳад, ки концентратсияи умумии намакҳои таркиби об муайян карда шавад. Аз ин лиҳоз, мо хосиятҳои обҳои ошомиданиро, ки дар ҳолатҳои мухталиф қарор доранду дорои концентратсияҳои гуногуни зарраҳои муаллақанд, аз назари табиати электроноқилият, мавриди таҳқиқ қарор додем. Барои чен кардани муқовимати электрии обҳои табиӣ ва обҳои тира (лой) асбобҳои E7-11 ва E7-8-ро истифода намудем.

**Расми 4. Самти ҳаракати анионҳо ва катионҳо дар маҳлул**  
**Рисунок 4. Направление движения анионов и катионов в растворе**  
**Figure 4. Direction of movement of anions and cations in solution**



Тарзи гузаронидани таҷриба дар расми 4 нишон дода шудааст. Дар дохили зарфи шишагӣ ду лавҳаҳои алюминии (масоҳати ҳар кадоме 2,25 см<sup>2</sup>) гузошта шуда, ба асбоби муқовиматченкунандаи E7-11 пайваست гардидааст. Бо таъсири майдони электрии беруна анионҳо (ионҳои манфӣ) сӯи анод ва катионҳо (ионҳои мусбат) сӯи катод ҳаракат мекунанд.

Электроноқилияти обҳои табиӣ, ки қобилияти зӯри ҳалкунандагӣ ва ионизатсиякунандагиро дороянд, асосан, аз дараҷаи ғализии (концентратсияи) намакҳои-маъданӣ ва ҳарорати онҳо вобаста аст [12,13].

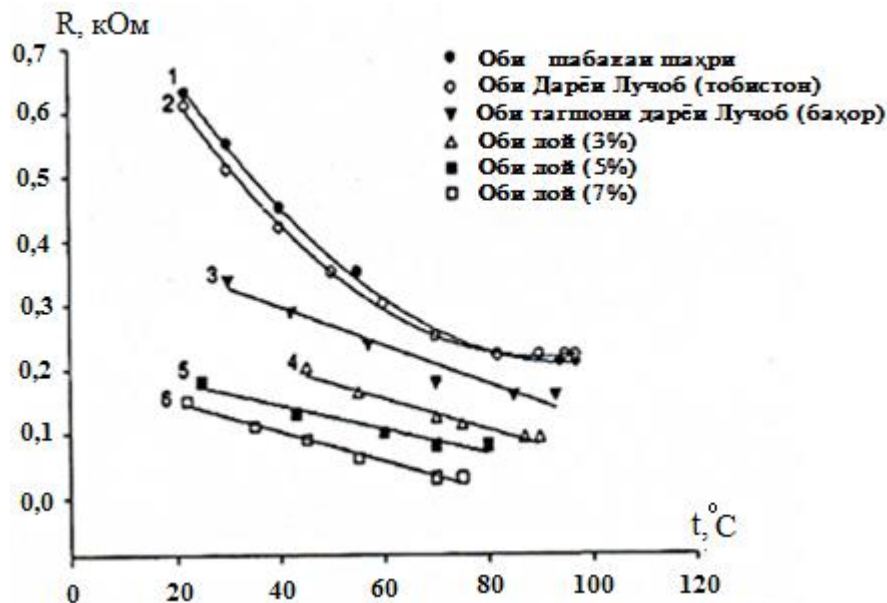
Дар расми 5 вобастагии ҳароратии муқовимат барои оби тоза ва маҳлулҳои оби ғализиашон мухталифи дорои зарраҳои дисперсӣ нишон дода шудааст.

**Расми 5. Вобастагии ҳароратии муқовимати маҳлулҳои оби концентратсияшон мухталиф**

**Рисунок 5. Температурная зависимость сопротивления водных растворов различной концентрации**



**Figure 5. Temperature dependence of resistance of aqueous solutions of different concentrations**

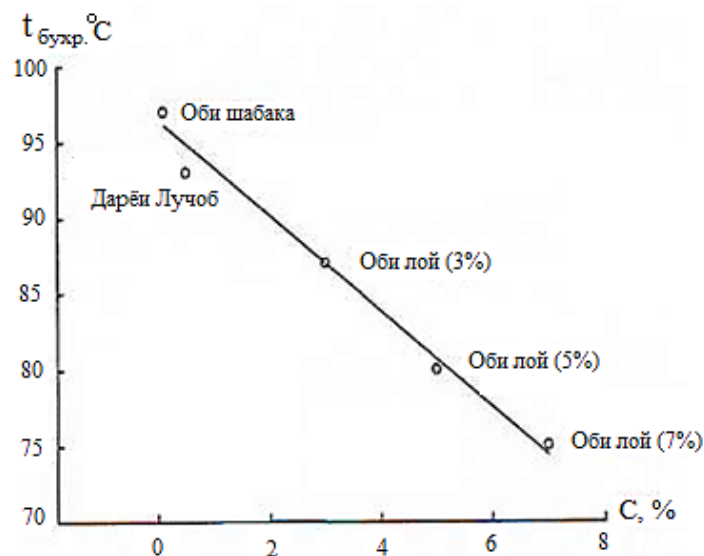


Аз расм маълум мегардад, ки бо афзудани ҳарорат барои обҳои тоза ва маҳлулҳои оби афтиши муқовимат ба амал меояд; афзоиши консентратсияи зарраҳои дисперсия дар маҳлул низ ба коҳиш ёфтани муқовимат меорад (ниг. тавсифҳои 3-6). Ҳангоми афзудани ҳарорат муқовимати оби кубур ва дарё сараввал тез хурд шуда, вале дар ҳарорати наваду чор градус (ҳарорати бухронӣ) ва аз он баланд муқовимат бе тағйир менамояд. Ҳарорати бухронӣ ( $T_6$ ) гуфта ҳароратеро меноманд, ки дар қачхатҳои  $R(t^\circ)$  афтиши муқовимат қатъ гашта бузургии он собит менамояд (рас. 5). Ҳарорати бухронӣ аз консентратсияи зарраҳои муаллақ вобаста буда бо афзоиши он  $T_6$  коҳиш меёбад. Вобастагии ҳарорати бухронӣ аз консентратсияи зарраҳои муаллақ дар оби дарёи Лучоб дар расми 6. нишон дода шудааст. Мавҷудияти ҳарорати бухронӣ, ки  $R = \text{const}$  аст, эҳтимол ба он алоқаманд аст, ки об ё маҳлул дар ҳолати пеш аз ҷӯшиш қарор дорад ва ҷой ивазкунии ҷузъҳои моеъ, ки садҳо ва ҳазорҳо кластерро [14] дар бар мегирад, ба амал меояд ва ин раванд ба васеъшавии пеш аз ҷӯшиш меорад. Ҳини дар ҳарорати бухронӣ қарор доштани моеъ, ба муқовимати хос ду омил таъсир мекунад: яқум васеъшавии пеш аз ҷӯшиш, ки ба хурдшавии  $R$  меорад ва дуюм афзоиши консентратсияи ионҳо дар натиҷаи диссоциатсияи молекулаҳои об, ки ба афзоиши  $R$  сабаб мегардад, ин равандҳо ҳамдигарро амалан ҷуброн менамоянд, ки сабаби собит мондани муқовимати маҳлул мегардад.

**Расми 6. Вобастагии ҳарорати бухронӣ аз консентратсияи лой**

**Рисунок 6. Зависимость критической температуры от концентрации ила**

**Figure 6. Dependence of critical temperature on sludge concentration**



Аён аст, ки афзоиши консенратсия ба хурдшавии ҳарорати «буҳронӣ» мебарад. Таҷрибаҳо нишон доданд, ки бинобар сабаби суғшудани алоқаи гидрогенӣ дар обҳои дорои зарраҳои муаллақ ҳарорати ҷӯшиш 4-6 градус коҳиш меёбад (ҷадвали 1), ки ин ба натиҷаҳои дар расми 6 оварда, мувофиқат мекунад.

Ҳамин тариқ, мавҷудияти ҳама гуна ғашҳо дар обҳои табиӣ ва маҳлулҳои об боиси пайдоиши ионҳо ва тағйирёбии алоқаҳои гидрогенӣ ва пас ба тағйирёбии хосиятҳои электрии обҳои мазкур сабаб мешаванд.

**Алоқамандии коэффисенти часпакӣ ва муқовимати хос.** Ба электроноқилияти моеъҳо, часпакии онҳо таъсири калон мерасонад [15]. Часпакӣ чун муқовимат аз ҳарорат вобастагии сахт дорад вале ин вобастагӣ акси муқовимат аст: афзоиши ҳарорат ба камшавии часпакӣ меорад (рас. 1).

Тибқи қонуни Стокс ҳаракати сакӯи радиусаш  $r$  дар муҳити моеъи часпак зерин таъсири қувваи  $F$  мунтазам буда ва суръати он бо ифодаи зерин муайян карда мешавад.

$$V = F / 6\pi\eta r \quad (1)$$

Формулаи умумии ноқилияти хос ( $\gamma$ ) намуди зеринро дорад:

$$\gamma = nqu \quad (2)$$

ки  $u = V / E$  -ҷолокии ионҳо,  $q$  -заряди ион,  $n$  -консенратсияи ионҳо дар моеъ.

Ба ифодаи (2) бузургии суръатро аз (1) гузошта ва бо назардошти  $F = qE$ , ки  $E$  -шадидагии майдони электрӣ, ҳосил мекунем:

$$\gamma = q^2 n / 6\pi\eta r \quad (3)$$

Одатан часпакӣ бо афзоиши ҳарорат коҳиш меёбад. Дар аксар мавридҳо вобастагии часпакӣ аз ҳарорат бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$\eta_2 = \mu_1 \exp[-c(T_1 - T_2)] \quad (4)$$

$\mu_1$  ва  $\mu_2$  -часпакӣ дар ҳароратҳои  $T_1$  (ҳарорати ибтидоӣ) ва  $T_2$  (ҳарорати

**ниҳой),  $c$  -доимӣ**

Тавре аз ифодаи (3) аён аст, коҳиш ёфтани часпакӣ бо афзоиши ҳарорат, ҳангоми электроноқилияти ионӣ, бояд ба афзоиши  $\gamma$  орад. Қимати  $n$  ҳангоми электроноқилияти ионӣ бо афзоиши ҳарорат бинобар сабаби афзоиши диссоциатсияи ҳароратии молекулаҳо меафзояд, ки ин ҳам ба афзоиши бузургии  $\gamma$  меорад.

Аз формулаи (3) бармеояд, ки барои маҳлули дорои ноқилияти табиати ионӣ дошта хангоми тағйироти ҳарорат, пас тағйироти часпакӣ, дар ҳолате, ки қимати  $n$  аз ҳарорат вобастагӣ надорад, қоидаи Псаржев- Валден ҷой дорад:

$$\gamma \cdot \mu = \mu / \rho = \text{const.} \quad (5)$$

Мутобиқи ифодаи (5) зарби ноқилияти хос  $\gamma = 1/\rho$  ( $\rho$ -муқовимати хос) ба коэффисенти часпакӣ бузургии доимист (қоидаи Псаржев-Валден). Натиҷаҳои дар боло овардари оид ба вобастагии ҳарорати  $\mu$  ва  $1/\rho$  таҳқиқ намуда иҷроиши таносуби (5) - ро месанҷем.

**Ҷадвали 2. Вобастагии параметҳои об аз консентратсияи обҳои лой дар маҳлулҳои обӣ**

**Таблица 2. Зависимость параметров воды от концентрации грязи в водных растворах**

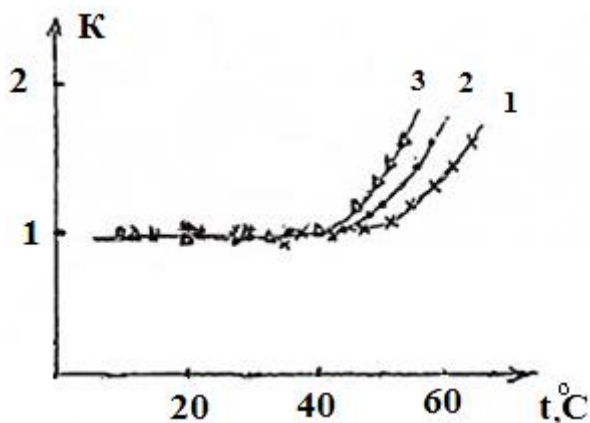
**Table 2. Dependence of water parameters on the concentration of dirt in aqueous solutions**

| Параметр       | Консентратсияи оби лой, С, % |      |      |      |
|----------------|------------------------------|------|------|------|
|                | 0                            | 1    | 3    | 7    |
| $\mu$ , Пас.   | 1,07                         | 1,11 | 1,25 | 1,38 |
| $\rho$ , Ом·см | 400                          | 340  | 280  | 189  |
| $\mu/\rho$     | 2,7                          | 3,3  | 4,4  | 7,3  |
| $K$            | 1                            | 1,22 | 1,6  | 2,7  |

**Расми 7. Вобастагии бузургии  $K$  аз ҳарорат**

**Рисунок 7. Зависимость величины  $K$  от температуры**

**Figure 7. Dependence of the magnitude of  $K$  on temperature**



Мутобиқи формулаи (5) нисбати коэффисенти часпакӣ ба муқовимати хос бузургии доимист. Дар ҷадвали 2 вобастагии коэффисенти часпакӣ, муқовимати хос,  $\mu/\rho$  ва бузургии ба ҳарорати хона овардаи он  $K = F(\mu/\rho; \mu_0/\rho_0)$ , ки  $\mu_0, \rho_0$  бузургии часпакӣ ва муқовимати хос барои оби тоза,  $\mu$  ва  $\rho$  ҳамон бузургиҳо барои консентратсияҳои мухталиф) оварда шудааст. Аз ҷадвал 2 дида мешавад, ки бо афзоиши коисентратсияи лой  $\mu$  аз 1,07 то 1,38 Пас афзоиш ёфта, муқовимати хос аз 400 то 189 Ом·см хурд шуда  $\mu/\rho$  ва  $K$  низ дар ҳудудҳои муайян афзудаанд. Дар расми 7 вобастагии коэффисенти  $K$  аз ҳарорат барои консентратсияҳои гуногуни оби лой оварда шудааст. Дида мешавад, ки қоидаи Псаржев-Валден дар соҳаи

муайяни ҳароратҳо аз 20° то 40° С ҷой дошта беруни он коҳиши ҳароратии сар мезанад, ки ба вайроншавии таносуби  $\mu_0/\rho = \text{const.}$  меорад. Афзоиши коэффисенти К барои концентратсияҳои  $C=0$ ; 3 ва 7% мувофиқан дар ҳароратҳои 47, 43 ва 40°С ба амал меояд. Ин чунин маъно дорад, ки (ниг. форм.5) афтиши  $\rho$  барои  $C=0$  то ҳарорати 47°С асосан ба васеъшавии маҳлул алоқаманд буда ҳангоми,  $t > 47^\circ \text{C}$  нақши асосиро афзоиши концентратсияи ионҳо бо сабаби диссоциатсияи ҳароратии молекулаҳои об мебозад. Ба ҳамин монанд дар сурати афзоиши концентратсияи зарраҳои муаллақ (зарраҳои лой) аз 3 то 7% ҳарорате, ки афзоиши  $\rho$  ба тағйироти ҳаҷм алоқаманд аст, мувофиқан то 43 ва 40° поин мефарояд. Мувофиқи дар расми 7 оварда шуда имкон медиҳанд, ки тағйироти  $\rho$  -ро ба ду соҳа:- яқум соҳаи ҳароратҳое, ки афзоиши  $\rho$  ба васеъшавии ҳаҷми маҳлул ва дуюм соҳае, ки тағйироти  $\rho$ -ро асосан диссоциатсияи молекулаҳои об муайян мекунанд, ҷудо кардан мумкин аст.

#### АДАБИЁТ

1. Султонов, Н. Температурная и концентрационная зависимость физических параметров водных растворов / Н. Султонов, Дж. Назаров, А. Хукматов, М.А. Шербоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – №1-2. – С. 108-112.
2. Султонов, Н. Очистка питьевых вод физическими методами / Н. Султонов, Дж. Назаров, А. Хукматов // Материалы республиканской конференции «Вода для жизни». – Душанбе, 2013. – С. 12-16.
3. Султонов, Н. Температурная и концентрационная зависимость физических параметров водных растворов / Дж. Назаров, А. Хукматов // Материалы 7-ой международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» Част I. – Душанбе, 2004. – С. 194-199.
4. Назаров, Ч. Нақши оби тоза дар ҳаёти инсон / Ч. Назаров, Н. Султонов, А. Хукматов, О. Нозимов // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон. – 2015. – №4. – С. 35-38.
5. Малкин, А.Я. Диффузия и вязкость полимеров / А.Я. Малкин, А.Е. Чалых. – М: Химия, 1970. – 220 с.
6. Одинаев, С. Дастури методӣ. Физика конденсированного состояния / С. Одинаев. – Душанбе, 2019. – 330 с.
7. Патент РФ №2180322. КлС, 02 F, 1/469. Способ электрохимическое очистки питьевых вод. 10.03.2002 г.
8. Патент РФ №2230227, КлС.02 F, 1/463. Устройства для электрохимической очистки воды 27.04.2003 г.
9. Аязбекова, М.А. Вода - вчера, сегодня и завтра / М.А. Аязбекова // Журнал пищевая промышленность. – 2003. – №1. – С. 84-89.
10. Тагер, А.А. Физика-химия полимеров / А.А. Тагер. – М: Химия, 1968. – 520 с.
11. Структура и роль воды в живом организме: сборник 3. – Л: Издательство Ленинградского государственного университета имени А. А. Жданова, 1970. – 108 с.
12. Агеев, И.М. Изменение проводимости воды при её нагревании различными типами источников тепла / И.М. Агеев, Г.Г. Шишкиев // Биофизика. – 2002. – Т. 47. – Вып. 5. – С. 782-786.
13. Tokmachev, A.M. Hydrogen-Bond Networks in Water Clusters: An Exhaustive Quantum-Chemical / A.L. Tchougreeff, R. Dronskowski // Chemphyschem European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry. – 2010. – Vol. 11. – No. 2. – Pp.384-388.
14. Немухин, А.В. Многообразие кластеров / А.В. Немухин // Российский химический журнал. – 1996. – Т.40. – №2. – С.48-56.
15. Тареев, Б.М. Физика диэлектрических материалов / Б.М. Тареев, гл.2. – М: Энергоиздат, 1982. – 317 с.

#### REFERENCES

1. Sulstonov, N. Temperature and concentration dependence of the physical parameters of aqueous solutions / N. Sulstonov, J. Nazarov, A. Khukmatov, M.A. Sherboev // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. – 2015. – No. 1-2. – Pp. 108-112.
2. Sulstonov, N. Purification of drinking water by physical methods / N. Sulstonov, J. Nazarov, A. Khukmatov // Proceedings of the republican conference "Water for Life". – Dushanbe, 2013. – Pp. 12-16.
3. Sulstonov, N. Temperature and concentration dependence of the physical parameters of aqueous solutions / J. Nazarov, A. Yukmatov // Proceedings of the 7th international scientific-practical

- conference "Prospects for the development of science and education". Part I. – Dushanbe, 2004. – Pp. 194-199.
4. Nazarov, J. The role of clean water in human life / Ҷ. Назаров, Н. Султонов, А. Хукматов, О. Нозимов // Bulletin of the Tajik Technical University. –2015. – No4. – Pp. 35-38.
  5. Malkin, A.Ya. Diffusion and viscosity of polymers / A.Ya. Malkin, A.E. Chalykh. – M: Chemistry, 1970. – 220 p.
  6. Odinaev, S. Methodical guide. Condensed state physics / S. Odinaev. –Dushanbe, 2019. – 330 p.
  7. RF patent No. 2180322. KLS, 02 F, 1/469. Electrochemical method drinking water purification. March 10, 2002
  8. RF patent No. 2230227, KLS.02 F, 1/463. Devices for electrochemical water treatment 27.04.2003
  9. Ayazbekova, M.A. Water - yesterday, today and tomorrow / M.A. Ayazbekova // Food Industry Journal. –2003. – No. 1. – Pp. 84-89.
  10. Tager, A.A. Physics and chemistry of polymers / A.A. Tager. – M: Chemistry, 1968. – 520 p.
  11. The structure and role of water in a living organism: collection 3. -L: Publishing house of Leningrad State University named after A. A. Zhdanov, 1970. – 108 p.
  12. Ageev, I.M. Changes in the conductivity of water when it is heated by various types of heat sources / I.M. Ageev, G.G. Shishkiev // Biophysics –2002. – Vol. 47. – Issue. 5. – Pp. 782-786.
  13. Tokmachev, A.M. Hydrogen-Bond Networks in Water Clusters: An Exhaustive Quantum-Chemical / A.L. Tchougreeff, R. Dronskowski // Chemphyschem European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry. – 2010. – Vol. 11. – No 2. – Pp.384-388.
  14. Nemukhin, A.B. Variety of clusters / A.B. Nemukhin // Russian Chemical Journal. – 1996. – Vol.40. – No 2. – Pp.48-56.
  15. Tareev, B.M. Physics of dielectric materials / B.M. Tareev. ch.2. – M: Energoizdat, 1982. – 317 p.

#### **ТАДҚИҚИ ЧАСПАКӢ ВА ВА МУҚҚОВИМАТИ ХОСИ МАҲЛУЛҲОИ ОБӢ**

Дар мақолаи мазкур вобастагии ҳароратии коэффисенти часпакӣ ва муқовимати хоси обҳои нушокии дорой зараҳои муаллақи концентрат-сияҳои мухталиф ва алоқамандии онҳо омукта шудааст. Муайян карда шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат коэффисенти часпакӣ коҳиш меёбад, ки ба хурдшавии ҳамтаъсири байнимолекулаӣ, бинобар васеъшавии маҳлул, алоқаманд аст. Афзоиши концентратсияи зараҳои муаллақ ба зиёдшавии часпакӣ меорад, ки ба лавҳагии зараҳои муаллақ ҳангоми лағзиши қабатҳои об алоқаманд аст; ба ин паҳшавии ҳарорати ҷӯшиш бо афзоиши концентратсия, ки сабаби коҳиш ёфтани қувваҳои ҳидрогении байнимолекулаӣ мегардад, далел шуда метавонад. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат бузургии муқовимати хос барои маҳлулҳои обӣ меафтад, ки ба диссоциатсияи молекулаҳои об ба ионҳои мусбату манфӣ, бо таъсири ҳарорат, алоқаманд аст. Дар асоси таҷрибаҳои вобастагии ҳароратии обҳои нушоқӣ ва маҳлулҳои онҳо мавҷудияти ҳарорати бухронӣ ( $T_b$ ) ошкор карда шуд, ки дар ҳарорати аз  $T_b$  баланд муқовимати хос амалан бетағйир мемонад, бо афзоиши концентратсия  $C$  (0; 3 ва 7%) ҳарорати бухронӣ мувофиқан ба 97, 87 ва 75°C поин мефарояд. Алоқамандии байни коэффисенти часпакӣ ва муқовимати хоси маҳлулҳои оби нушоқӣ муқарар карда шудааст ва нишон дода шудааст, ки қоидаи Псиаржев-Валден дар ҳудудҳои муаяни, ҳарорат (барои  $C=0\%$  22-47; 3% 22-43, 7% 22-40°) ҷой дошта, беруни ин соҳаҳо ионизатсияи шадиди молекулаҳои об ба амал меояд ва қоидаи П-Валден акнун иҷро намешавад. Ҳамин тариқ, тағйироти муқовимати хосро ( $\rho$ ) вобата ба ҳарорат ба ду соҳа ҷудо кардан мумкин аст: 1. соҳаи ҳароратҳое, ки тағйироти  $\rho$ -ро асосан васеъшавии маҳлул; 2. ҳароратҳое, афзоиши  $\rho$ -ро зиёдшавии ҳароратии концентратсияи ионҳо муаян мекунад.

**Калидвожаҳо:** часпакии маҳлул, муқовимати хос, электрод, ионҳои мусбат, манфӣ, зараҳои дисперсӣ, алоқамандии ҳидрогении, таъсири байни молекулаӣ.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ И УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

В статье исследована температурная зависимость коэффициента вязкости и удельного сопротивления, а также их взаимосвязь для питьевых вод с различной концентрации взвешенных частиц. Установлено, что с ростом температуры наблюдается уменьшение коэффициента вязкости, что связано с ослаблением межмолекулярных взаимодействий, а повышении концентрации к её росту, которые определяется экранированием молекул воды взвешенными частицами при росте концентрации; об уменьшении межмолекулярных водородных сил также свидетельствует уменьшение температуры кипения раствора с ростом концентрации взвешенных частиц. Показано, что с ростом температуры наблюдается падение удельного сопротивления для питьевых вод и её растворов, что связан с диссоциацией молекул воды на положительные и отрицательные ионы в тепловом поле. На основе опытов по температурной зависимости питьевых вод и их растворов обнаружено наличие критической температуры выше которого удельное сопротивление практически остаётся постоянным, при чём с ростом концентрации (0., 3, 7%) критическая

температура падает соответственно на 97, 87 и 75°C. Установлено взаимосвязь между коэффициентом вязкости и удельной и проводимости водных растворов с взвешенными частицами и показано, что правила Псаржева-Валдена ( $\mu\rho = \text{const}$ ) выполняется в определенном диапазоне температур (для  $C=0\%$  -22-47°, 3%-22-43°, 7%-22- 40°) и вне этой области имеет место интенсивная ионизация молекул воды, что приводит к нарушению правила П-Валдена. Таким образом изменения  $\rho$  в зависимости от температуры можно разделить на две области: 1 область температур где изменения  $\rho$  связан с объёмным расширением раствора и 2 область температур где изменение  $\rho$  в основном определяются тепловыми диссоциациями молекул приводящей к росту концентрации ионов.

**Ключевые слова:** вязкость раствора, удельное сопротивление, электрод, положительные и отрицательные ионы, дисперсионных частицы, водородная связь, межмолекулярные взаимодействия.

## STUDY OF VISCOSITY AND SPECIFIC RESISTANCE OF WATER SOLUTIONS

The article investigates the temperature dependence of the viscosity coefficient and resistivity, as well as their relationship for drinking water with different concentrations of suspended particles. It was found that with an increase in temperature, a decrease in the viscosity coefficient is observed, which is associated with a weakening of intermolecular interactions, and an increase in concentration to its growth, which is determined by the screening of water molecules by suspended particles with an increase in concentration; a decrease in intermolecular hydrogen forces is also evidenced by a decrease in the boiling point of the solution with an increase in the concentration of suspended particles. It is shown that with an increase in temperature, a drop in resistivity is observed for drinking water and its solutions, which is associated with the dissociation of water molecules into positive and negative ions in a thermal field. Based on experiments on the temperature dependence of drinking water and their solutions, the presence of a critical temperature above which the resistivity practically remains constant was found, and with an increase in concentration (0, 3,7%), the critical temperature drops by 97, 87 and 75 °C, respectively. The relationship between the viscosity coefficient and the, specific conductivity of aqueous solutions with suspended particles has been established and it has been shown that the Psarzhev-Walden rules ( $\mu\rho = \text{const}$ ) are fulfilled in a certain range of temperatures (for  $C = 0\% -22-47\ 3\% -22-43\ 7\% -22-40\ ^\circ$ ) and outside this area there is intense ionization of water molecules, which leads to a violation of the P-Walden rule. Thus, the changes in  $\rho$  depending on temperature can be divided into two regions: 1 has temperatures where the changes in 2 are associated with the volumetric expansion of the solution and 2 the temperature range where the change in  $\rho$  is mainly determined by thermal dissociation of molecules leading to an increase in the concentration of ions.

**Keywords:** solution viscosity, resistivity, electrode, positive, negative ions, dispersive particles, hydrogen bond, intermolecular interactions.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Султонов Низом – доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи электроникаи физикии Донишгоҳи милли Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 988-00-35-88.

**Хукматов Аваз** – номзоди илмҳои физикаю математика, дотсент, ходими пешбари илми озмоишгоҳи физикаи муҳитҳои конденсии ба номи профессор Б.Н.Нарзуллоевии Институди илмӣ-таҳқиқотии Донишгоҳи милли Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 919-60-82-28. **E-mail:** khukmatov36@bk.ru.

**Нозимов Отаҷон** – муаллими калони кафедраи физикаи назариявии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ. **Суроға:** 734003, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 121. **Телефон:** (+992) 915-52-03-67.

**Содиқов Фирӯзҷон Ходихоҷаев** - номзоди илмҳои физикаю математика, ходими пешбари илми озмоишгоҳи физикаи муҳитҳои конденсии ба номи профессор Б.Н.Нарзуллоевии ИИТ ДМТ. **Суроға:** Тоҷикистон, 734025 ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ 17. **Телефон:** (+992) 918-21-69-60. **E-mail:** fiuz34@mail.ru.

**Сведения об авторах:** Султонов Низом – Таджикский национальный университет, д.ф.-м.н., профессор кафедры физической электроники. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 988-00-35-88.

**Хукматов Аваз** – к.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник научно- исследовательского института Таджикский национальный университет. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 919-60-82-28. **E-mail:** khukmatov36@bk.ru.

**Нозимов Отаджон**-Таджикский государственный педагогический Университет, имени С.Айни, старший преподаватель кафедры теоретической физики. **Адрес:** 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки 121. **Телефон:** (+992) 915-52-03-67.

**Содиков Фирузджон Ходиходжаевич** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики конденсированных сред имени профессора Б.Н. Нарзуллаева НИИ ТНУ. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 918-21-69-60. **E-mail:** fiuz34@mail.ru.

**Information about the authors: Sultonov Nizom** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Physical Electronics of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 988-00-35-88.

**Khukmatov Avaz Ibrogimovich** – Tajik National University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research Institute. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 919-60-82-28. **E-mail:** khukmatov36@bk.ru.

**Nozimov Otajon** – Tajik State Pedagogical University named after S. Aini, Senior Lecturer of the Department of Theoretical Physics. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 121. **Phone:** (+992) 915-52-03-67.

**Sodikov Firuzjon Khodikhodzhaevich** – candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Condensed Matter Physics named after Professor B.N. Narzullaev of Research Institute Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 918-21-69-60. **E-mail:** fiuz34@mail.ru.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
АТМОСФЕРЫ Г. ДУШАНБЕ С ПОМОЩЬЮ ЛИДАРА**

<sup>3</sup>Нозиров Д.Ф., <sup>2</sup>Хофер Дж., <sup>1</sup>Фарход Рахими,

<sup>1</sup>Абдуллаев С.Ф., <sup>2</sup>Бобоева Н.Дж.

<sup>1</sup>Национальная академия наук Таджикистана

<sup>2</sup>Институт тропосферных исследований им. Лейбница (Германия)

<sup>3</sup>Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ

**Введение.** Прибор, использованный в г. Душанбе, представляет собой многоволновый поляризационный/рамановский лидар PollyXT (PortabLe Lidar System). Символы XT в обозначении модели PollyXT означают, что он имеет расширенную версию и принадлежит к сети постоянных или временных систем PollyNET. Этот специфический прибор PollyXT уже использовался во многих экспериментах в прошлом. Для Центрально-азиатского эксперимента (ЦАПЭКС) этот PollyXT был модернизирован вторым каналом деполяризации при 355 нм [1, 31]. Все системы PollyXT содержат лазерную систему, излучающую свет на рабочих лазерных длинах волн при 355 нм, 532 нм и при 1064 нм путем удвоения и утроения частоты. Приемник, фиксирующий обратное излучение, имеет 8 каналов регистрации и измеряет рассеянный обратный свет на всех трех излучаемых длинах волн. Каналы с длиной волны 387 нм, 607 нм и 407 нм позволяют обнаруживать комбинационное рассеяние в ночное время. Еще два канала обнаруживают кросс-поляризованное излучение при 355 нм и 532 нм. Три раза в день система выполняет автоматическую 90-процентную деполяризационную калибровку. На рис. 1 (нижняя панель) показан эскиз оптического макета используемой системы. Сигналы регистрируются и хранятся в памяти, они имеют вертикальное разрешение на расстоянии порядка 7.5 м и разрешение по времени порядка 30 с.

После генерации второй гармоники (ГВГ) и генерации третьей гармоники (ГТГ) часть лазерного луча отражается на измерителе мощности (РМ), который измеряет ультрафиолетовую компоненту для контроля эффективности преобразования. Правая часть приемника, Ньютоновский телескоп, собирает обратный рассеянный свет, а затем передает в приемник. Цифры указывают длину волны в нанометрах на каналах детектирования и обозначают поперечно-поляризованные каналы.

Камера (САМ) синхронизирована с лазерным триггером и регистрирует луч при 532 нм для наблюдения за перекрытием пучков. Поляризатор, установленный перед отверстием, является устройством для абсолютной калибровки измерений деполяризации [31].

**Обсуждение результатов.** Полное перекрытие достигается примерно на уровне 1.5 км над поверхностью Земли. Результаты измерений PollyXT и их относительная погрешность приведены в таблице 1. Соответствующие неопределенности (погрешность или ошибка), являются результатом неопределенности (погрешность или ошибка) входных параметров и шумов сигналов, и приведены как столбец ошибок в разделе результаты. Сетевой метод поляризационного лидарного фотометра POLIPHON применяется для разделения пылевых и непылевых случаев оптических и связанных с ними микрофизических свойств.

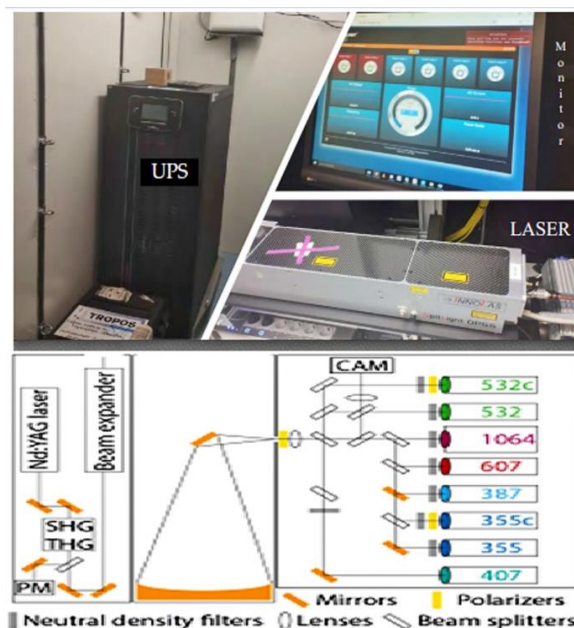
Это разделение выполняется по отношению к коэффициенту обратного рассеяния частиц с использованием измеренного отношения полной линейной деполяризации частиц при 532 нм, а также типичные отношения линейной деполяризации частиц для



пылевого (0.31) и непылевого (0.05) случая. Для преобразования коэффициентов экстинкции частиц в объемную концентрацию частиц используются коэффициенты пересчета для пылевого и непылевого случаев из комплексного исследования и анализа данных AERONET

**Рисунок 1. Верхняя панель: Лидар PollyXT: Лазер, UPS и компьютер. Нижняя панель: схематический эскиз оптического макета PollyXT; левая часть передатчик**

**Figure 1. Top panel: PollyXT lidar: Laser, UPS and computer. Bottom panel: schematic sketch of the PollyXT optical layout; left side transmitter**



**Таблица 1. Измеряемые факторы системой Лидар PollyXT и их относительная погрешность**

**Table 1. Measured factors by the PollyXT Lidar system and their relative error**

| Факторы*                  | Длина волны [нм]              | Относительная погрешность [%] |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $\beta$                   | 355, 532, 1064                | 5-10                          |
| $A$                       | 355 (с 387), 532 (с 607)      | 10-20                         |
| $S$                       | 355, 532                      | 11-28                         |
| $\alpha(\lambda)$         | с $\alpha(\lambda)$ 355/532   | 14-28                         |
| $\delta$                  | 355, 532                      | 7-11                          |
| WV                        | с 407                         | 20                            |
| Массовая концентрация (M) | с $\delta$ , $\beta$ 355, 532 | 30-50                         |

\*Примечание. Обозначения, принятые в таблице  $\beta$  – коэффициент обратного рассеяния частиц,  $\alpha$  – коэффициент экстинкции частиц,  $S$  – лидарное отношение,  $\alpha(\lambda)$  - параметр Ангстрема, связанный с экстинкцией,  $\delta$  - коэффициент деполаризации частиц, WV (Water Vapor) – концентрации водяного пара при пыли и непылевых случаях, M – массовая концентрация.

## Аэрозольная оптическая толщина, массовая концентрация пыли и высота слоя пыли

Рассмотрим следующие четыре сильноконтрастных случая:

(1) пыль верхнего слоя пылевого события из Ближнего Востока, которое произошло 13 апреля 2015г. (случай -1, Рис. 2);

Верхняя левая панель, такая же, как на рис. 2 (левые панели), но на 12 апреля 2015 года по времени - 18:00 UTC и 13 апреля 2015 года по времени - 23:58 UTC. Нижняя левая панель это усредненные лидарные профили были измерены 13 апреля 2015 года по времени - 15:10 - 16:08 UTC. Лидарные сигналы сглаживаются перед вычислением оптических свойств, связанных с экстинкцией (743 м) и обратным рассеянием. (68м).

(2) чрезвычайное пылевое событие с пылью из ЦА, которое было зарегистрировано 8 и 9 августа 2015 г. (случай - 2);

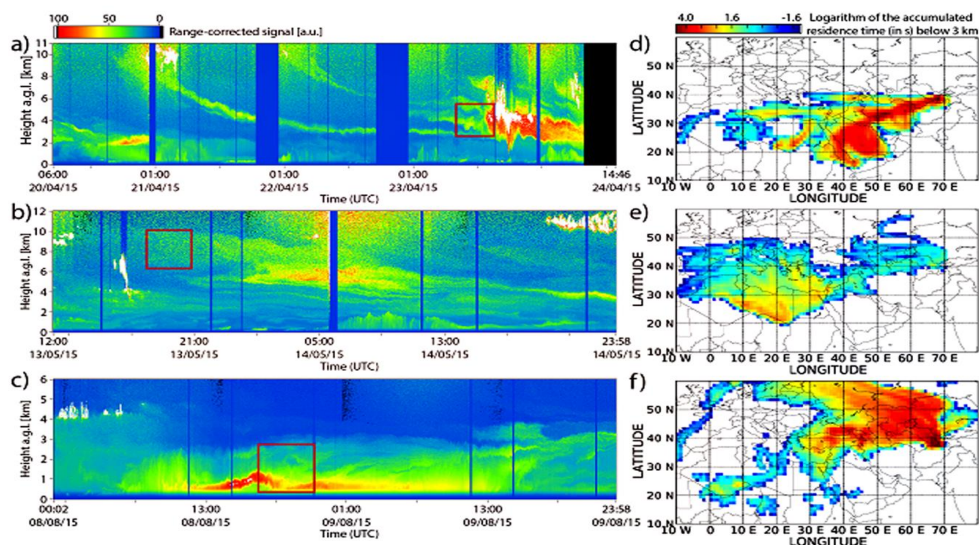
(3) самое экстремальное пылевое событие, которое наблюдалось 14 июля 2016 года (случай-3); во время эксперимента ЦАПЕКС - CADEX с пылью источниками из ЦА;

(4) контрастный случай с уровнем загрязнения местного происхождения, который был измерен 13 мая 2015 года (случай-4).

Верхний слой пыли в случае - 1 существенно способствовал суммарной АОТ около 0.4 при 532 нм. Случай - 2 имел АОТ значение, равное, 1.5 при 532 нм. Самый экстремальный пылевой случай в ходе эксперимента, т.е. случай-3, с необычной АОТ выше значения в 3.5 при 532 нм, при измерении лидаром, и выше 4 - при измерении с помощью солнечного фотометра. АОТ случая-2 сопоставим с пылевым событием во время советско-американской экспедиции 1989 года (АОТ равное 1.3 при 550 нм) [1]. Наиболее экстремальное пылевое событие, т.е. случай-3, сопоставимо со вторым пылевым событием во время советско-американского эксперимента (АОТ равное 3.3 при 550 нм) [2]. В [2] оценили максимальное значение АОТ, которое за день до пылевого события превышало значение, равное 10-ти исходя из горизонтальной дальности видимости, которая как сообщается, составляла 50-200м [3].

**Рисунок 2. Иллюстрация примеров измерения аэрозольных слоев, наблюдаемых с помощью PollyXT в городе Душанбе, в частности до уровня облаков (высота 10км)**

**Figure 2. Illustration of examples of measurements of aerosol layers observed with PollyXT in the city of Dushanbe, in particular up to the level of clouds (altitude 10km)**



Для сравнения в [4] сообщили о дальности видимости 500-600м для необычного пылевого события в Средиземноморском регионе, указав АОТ от 4.8 до 9 в зависимости от высоты слоя. Это снова приводит к оценке пыли в столбе в диапазоне значений от 8 до 15 г/м<sup>2</sup>. Эти значения выше, чем для **случая - 3**, где АОТ составляло значение 3.89, а интегральная масса пыли составляла 6.7 г/м<sup>2</sup>. Видимость, рассчитанная по измеренному коэффициенту экстинкции 1.7 км<sup>-1</sup> (измеренная на высоте 870метров), составила 2.3 км. АОТ и массовая концентрация пыли для **случая - 3** были рассчитаны только по лидарным данным, но солнечный фотометр фиксировал даже более высокое значение АОТ, равное 4.45.

### **Высота слоя пыли**

Многokратные высотные пылевые слои, расположенные перед верхним слоем пыли 24 апреля 2015 года (Рис. 2 (а)), а также высокий аэрозольный слой 13 мая 2015г. (Рис. 2 (б)) достигли высоты около 10км над уровнем Земли. Это выше, чем самая высокая точка гор Памира (7.6 км над уровнем Земли), что означает, что эти слои могут пересекать горы Памира или Тянь-Шаня и могут переноситься дальше на восток. Аналогичное наблюдение было сделано весной 2003 года, когда слои повышенной деполяризации на высотах 9 -11км были измерены лидаром в Аксу (северо-западный Такламакан) [5]. В течение недели лидарные станции в Японии измеряли пыль на высотах от 2км до 6км, без крупных пылевых вспышек в пустынях Такламакан и Гоби. Моделирование показало, что пыль переносилась в Японию к северу от гор Тянь-Шаня [6]. В этом случае, по оценкам [6], 50% частиц пыли, прибывающих в Японию, поступали из Сахары, 30% из Ближнего Востока, и только 10% из Китая.

### **Лидарное отношение и область источника пыли**

Наблюдаемые лидарные отношения в представленных пылевых случаях (**случаи - 1, 2, 3**) изменяются от 40.3 стерadians до 46.9 стерadians при 355 нм и от 35.7 стерadians до 42.9 стерadians при 532 нм. Верхний слой пыли (**случай - 1**) имеет лидарное отношение 42.2 стерadians при 355 нм и 35.7 стерadians при 532 нм. Приземные пылевые слои (**случаи - 2 и 3**) имеют лидарное отношение 46.9 стерadians и 40.3 стерadians при 355 нм, и 42.9 стерadians и 38.7 стерadians при 532 нм. Единственный слабо деполяризующий аэрозоль для загрязнений в **случае -4** имеет лидарное отношение 52.7 стерadians при 532 нм и 30.5 стерadians при 335 нм, но с высокой изменчивостью.

Пыль Сахары имеет лидарное отношение от 50 стерadians до 60 стерadians при 532 нм, как указано в работах [7, 8, 9], авторы которых использовали набор данных АЭРОНЕТ для извлечения коэффициентов лидарного отношения пыли, и обнаружили более низкие значения для западноазиатской пыли, чем для африканской пыли. Аналогичные результаты были получены из измерений комбинационного лидара на Кипре с лидарными отношениями от 35 стерadians до 45 стерadians для ближневосточной пыли [10, 11]. В Восточной Азии фиксировались лидарные отношения азиатской пыли в диапазоне 47±18 стерadians [12] при длине волны 355 нм и 42±7 стерadians [13] при 532 нм. В Китае лидарные отношения составляли 40±5 стерadians [14] при 355 нм и 35±5 стерadians [15] при 532 нм для пыли пустыни Гоби. Ситуация в Центральной Азии еще более неясна, так как почти нет измерений. Несмотря на то, что прямые измерения пылевых лидарных отношений внутри пустыни Такламакан пока еще не доступны, авторы [16] использовали ограничения для получения коэффициента лидарного отношения для пыли в диапазоне 42±3 стерadians при 532 нм в Аксу (в северо-западной части пустыни Такламакан авторы [17] зафиксировали очень низкие лидарные отношения 8-29 стерadians при 532 нм в слабо деполяризующих пылевых слоях Кыргызстана). Для пыли из Каспийского и

Аральского морей было измерено лидарное отношение, равное  $43 \pm 3$  стерadian при 532 нм [16].

Лидарные отношения для примеров пылевых событий (**случаи - 1, 2, 3**) хорошо согласуются с этими значениями. Нет четкой разницы между слоем пыли в **случае - 1**, который представляет собой пыль Ближнего Востока и свежие пылевые приземные слои в **случаях - 2 и 3** из регионов ЦА. Верхний слой пыли в **случае - 1** имеет очень низкое лидарное отношение  $35,7 \pm 1,7$  при 532 нм, действительно сопоставимое с тем (от  $33,7 \pm 6,7$  до  $39,1 \pm 5,1$  стерadian при 532 нм), что обнаружено в [10] для пыли с Ближнего Востока. С другой стороны, также самое экстремальное событие пыли в **случае - 3** имеет лидарное отношение ниже 40 стерadian при 532 нм. Затем снова были измерены несколько большие лидарные отношения выше 40 стерadian в крайнем околосреднем слое пыли в **случае - 2**. Лидарные отношения слоя в условиях загрязнения в **случае - 4** существенно различаются между двумя длинами волн.

#### **Коэффициент линейной деполяризации частиц аэрозолей**

Наблюдаемые коэффициенты линейной деполяризации в представленных случаях пыли (**случаи - 1, 2 и 3**) изменяются от 0.18 до 0.29 при 355 нм и от 0.31 до 0.35 при 532 нм. Верхний слой пыли в **случае - 1** имеет коэффициент деполяризации 0.18 при 355 нм и 0.31 при 532 нм. В **случае - 2 и 3** пыли в приземном слое имеют деполяризационные отношения, равные 0.23 и 0.29 при 355 нм и 0.35 при 532 нм. В отличие от пылевых **случаев - 1, 2 и 3**, местное аэрозольное загрязнение в **случае - 4** имеет низкий коэффициент деполяризации, равный 0.03 при 355 нм и 0.08 при 532 нм.

Автором [17] измерен коэффициент линейной деполяризации частиц  $0.23 \pm 0.02$  при 532 нм для образовавшейся и поднятой пыли вблизи Каспийского и Аральского морей. Сообщалось о снижении коэффициента деполяризации в Кыргызстане до значений 0.1-0.15 для поднятых слоев пыли [18] и около 0.2 при 532 нм для слоев пыли в приземном слое [18].

Но следует учитывать, что эта станция уже расположена на 1.9 км над уровнем моря. В Аксу (северо-западный Такламакан) [17] измеряли коэффициент деполяризации при 532 нм со значением 0.09-0.11 в верхнем слое пыли и 0.18-0.33 в слое пыли в приземной области. В [19] измеряли коэффициент деполяризации со значением 0.27 при 532 нм в верхнем слое пыли в Дуньхуане (северный Такламакан). Значения, обозначенные как коэффициенты деполяризации аэрозоля, преобразуются в линейные коэффициенты деполяризации частиц [20-22].

Измеренные коэффициенты деполяризации для представленных случаев пыли (**случаи - 1, 2 и 3**) в основном выше этих значений. Диапазон приведенных отношений деполяризации частиц от 0.31 до 0.35 при 532 нм сопоставим со значениями, представленными в [23] для сахарской пыли (0.27-0.35) или средне-восточной пыли (0,25-0,32) [24]. Спектральная разность между длинами волн является значительной. Диапазон представленных деполяризационных отношений частиц при 355 нм (0.18-0.29) большой при исключительно высоком значении во время самого экстремального события пыли (**случай - 3**). В сахарской пыли в области источника фиксировались отношения деполяризации частиц при 355 нм в диапазоне от 0.22 до 0.31 [25] и от 0.21 до 0.27 после переноса на большие расстояния [26, 27, 28, 29]. Пыль приземного слоя (**случаи - 2, 3**) имела более высокие коэффициенты деполяризации частиц на обеих длинах волн, чем верхний слой пыли в **случае - 1**. Тем не менее, верхний слой пыли в **случае - 1** имел коэффициент деполяризации 0.31 при 532 нм, что указывает только незначительные изменения характеристик пылевой деполяризации на Ближнем Востоке во время его дальнего переноса в направлении Центральной Азии. С другой стороны, верхний слой пыли в **случае - 1** имел более низкое отношение деполяризации при 355 нм, чем дальний трансграничный перенос сахарской пыли.

### Доступность данных

Обратные траектории HYSPLIT вычисляются с помощью доступных онлайн - инструментов (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>).

База данных солнечного фотометра по программе AERONET доступна на веб-странице АЭРОНЕТ ([http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type\\_one\\_station\\_opera\\_v2\\_new? Site = Dushanbe](http://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/type_one_station_opera_v2_new?Site=Dushanbe)).

В период 17.03.2015-18.08.2016; 17.06.2019-09.02.2020; 25.10.2021-30.11.2022 проведенные лазерные зондирования атмосферы г. Душанбе доступны на сайте: [https://polly.tropos.de/calendar/1cation/10? individual page 2022](https://polly.tropos.de/calendar/1cation/10?individual_page_2022)

**Выводы.** В рамках Центральноазиатского пылевого эксперимента проводится постоянное лазерное зондирование атмосферы г. Душанбе на многоволновом поляризационном лидаре POLLY-XT. В настоящей статье представлены некоторые данные о проведенных измерениях в период 17.03.2015-18.08.2016. Дополнительные наземные измерения и исследования по моделированию в районе эксперимента ЦАПЭКС не представлены здесь. Во время эксперимента пылевые слои часто наблюдались с высоты вертикальной тропопаузы с регионами-источниками в Африке, на Ближнем Востоке и в Центральной Азии. Рассмотрено четыре характерных случая измерений, которые являются типичными для этих условий в районе проведения исследований, такие как поднятые слои пыли и экстремальные пылевые события. В отличие от пыли дальнего переноса, аэрозольное загрязнение атмосферы местного происхождения в Таджикистане подвергается слабому антропогенному воздействию на аэрозоль. Наблюдаемые коэффициенты линейной деполяризации частиц для пылевых эпизодов варьируются в диапазоне от 0.18 до 0.29 при 355 нм и от 0.31 до 0.35 при 532 нм. Представленные примеры высотных профилей приземного слоя пыли из ЦА имели высокую деполяризацию на обеих длинах волн, указывающих на местную пыль. Представленный верхний слой пыли из ближневосточной пыли дальнего переноса имел несколько более низкие коэффициенты деполяризации, особенно при 355 нм. Тем не менее, данные по-прежнему указывают на слабое местное загрязнение пыли после переноса на большие расстояния в Центральную Азию. Наблюдаемые лидарные отношения в такой пыли варьируются в диапазоне от 40.3 до 46.9 стерadians при 355 нм и от 35.7 до 42.9 стерadians при 532 нм. Эти значения лидарного отношения ниже, чем типичные лидарные отношения для сахарской пыли (50 -60 стерadians) и сопоставимы с лидарными отношениями пыли с Ближнего Востока и Западной Азии (35- 45 стерadians).

Проведенные в период 17.06.2019-09.02.2020; 25.10.2021-30.11.2022 измерения обеспечили исследования уникальным набором данных оптических свойств аэрозоля над Центральной Азией с достаточно высоким вертикальным разрешением. Дальнейший анализ набора данных, который будет опубликован в последующих публикациях, будет включать в себя статистический анализ всего периода измерений оптических свойств, концентрации пыли, высоты пылевого слоя, сезонов и регионов источников пылевых вторжений.

Для выявления долгосрочных тенденций, особенно в отношении изменения климата, необходимы дополнительные измерения в Центральной Азии. Такие измерения предлагают также новые возможности сравнения спутникового зондирования. Более того, ассимиляция этих данных в модели пыли (региональный и глобальный перенос, аэрозольные оптические свойства, радиационный перенос) позволит уменьшить степень неопределенности. Поэтому создана постоянно действующая оптико-локационной лидарная станция в Таджикистане [30, 31].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, Б.И. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии / Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов. – Душанбе: Ирфон, 2016. – 378 с.
2. Пискунов, В.Н. Теоретические модели кинетики формирования аэрозолей / В.Н. Пискунов. – Саров: РФЯЦ ВНИИЭФ, 2000. – 209 с.
3. Назаров, Б.И. Бюллетень лаборатории физики атмосферы Физико-технического института АН Республики Таджикистан (2005-2015 гг.) / Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов. – Душанбе: Дониш, 2016. – 172 с.
4. Holben, B.N. AERONET - A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization / B.N. Holben, T.F. Eck, I. Slutsker et al. // *Rem. Sens. Environ.* -V. 66. – Pp. 1-16.
5. Mikami, M. Aeolian dust experiment on climate impact: An overview of Japan China joint project ADEC/ M. Mikami, G.Y. Shi, I. Uno et al. // *Glob. Planet. Change.* – Vol.52. – Pp. 142-172.
6. Tanaka, T.Y. Possible transcontinental dust transport from North Africa and the Middle East to East Asia/ T.Y. Tanaka, Y. Kurosaki, M. Chiba et al. // *Atmos. Environ.* – Vol.39. – Pp. 3901-3909.
7. Schuster, G.L. Comparison of CALIPSO aerosol optical depth retrievals to AERONET measurements, and a climatology for the lidar ratio of dust / G.L. Schuster, M. Vaughan, D. MacDonnell et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.12. – Pp. 7431-7452.
8. Grob, S. Optical properties of long-range transported Saharan dust over Barbados as measured by dual-wavelength depolarization Raman lidar measurements / S. Grob, V. Freudenthaler, K. Schepanski et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 11067-11080.
9. Tesche, M. Vertical profiling of Saharan dust with Raman lidars and airborne HSRL in southern Morocco during SAMUM / M. Tesche, A. Ansmann, D. Müller et al. // *Tellus. B.* – Vol. 61. – Pp. 144-164.
10. Mamouri, R.E. Low Arabian dust extinction-to-backscatter ratio / R.E. Mamouri, A. Ansmann, A. Nisantzi et al. // *Geophys. Res. Lett.* – Vol.40. – Pp. 4762-4766.
11. Nisantzi, A. Middle East versus Saharan dust extinction-to-backscatter ratios / A. Nisantzi, R. E. Mamouri, A. Ansmann, G.L. Schuster, and D.G. Hadjimitsis // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 5203-5240.
12. Sakai, T. Ice clouds and Asian dust studied with lidar measurements of particle extinction-to-backscatter ratio, particle depolarization, and water-vapor mixing ratio over Tsukuba / T. Sakai, T. Nagai, M. Nakazato, et al. // *Appl. Opt.* – Vol.42. – Pp. 7103-7116.
13. Liu, Z. Extinction-to-backscatter ratio of Asian dust observed with high-spectral-resolution lidar and Raman lidar / Z. Liu, N. Sugimoto, and T. Murayama // *Appl. Opt.* – Vol.41. – Pp. 2760-2767. - doi:10.1364/AO.41.002760. - 2002.
14. Tesche, M. Particle backscatter, extinction, and lidar ratio profiling with Raman lidar in south and north China / M. Tesche, A. Ansmann, D. Müller, et al. // *Appl. Opt.* – Vol.46. – Pp. 6302-6308. - doi:10.1364/AO.46.006302. - 2007.
15. Müller, D. Aerosol-type-dependent lidar ratios observed with Raman lidar / D. Müller, A. Ansmann, I. Mattis et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol.112. - doi:10.1029/2006JD008292. - 2007.
16. Dieudonné, E. Lidar profiling of aerosol optical properties from Paris to Lake Baikal (Siberia) / E. Dieudonné, P. Chazette, M. Marnas et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 5007-5026. - doi:10.5194/acp-15-5007-2015. - 2015.
17. Tsunematsu, N. Extensive dust outbreaks following the morning inversion breakup in the Taklimakan Desert / N. Tsunematsu, T. Sato, F. Kimura et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol.110. - doi:10.1029/2005JD005994, d21207. - 2005.
18. Chen, B. Optical and microphysical characteristics of aerosol structures in Central Asia - in: International Conf. on Lasers, Applications, and Technologies 2007: / B. Chen and L. Sverdlik // *Environmental Monitoring and Ecological Applications; Optical Sensors in Bio, Chemical, and Engineering Technologies; and Femtosecond Laser Pulse Filamentation.* – Vol.6733. -doi:10.1117/12.753117. - 2007.
19. Iwasaka, Y. Importance of dust particles in the free troposphere over the Taklamakan Desert: Electron microscopic experiments of particles collected with a balloonborne particle impactor at Dunhuang, China / Y. Iwasaka, G. Y. Shi, M. Yamada et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol.108. – P. 8644. - doi:10.1029/2002JD003270. - 2003.
20. Burton S.P., Vaughan M.A., Ferrare R.A., and Hostetler C.A. Separating mixtures of aerosol types in airborne High Spectral Resolution Lidar data / S.P. Burton, M.A. Vaughan, R.A. Ferrare, and C.A. Hostetler // *Atmos. Meas. Tech.* – Vol.7. – Pp. 419-436. - doi:10.5194/amt-7-419-2014. - 2014.
21. Cairo, F. Comparison of various linear depolarization parameters measured by lidar / F. Cairo, G. Di Donfrancesco, A. Adriani, et al. // *Appl. Opt.* – Vol.38. – Pp. 4425-4432. - doi:10.1364/AO.38.004425. - 1999.
22. Gimmestad, G.G. Reexamination of depolarization in lidar measurements / G.G. Gimmestad // *Appl. Opt.* – Vol.47. – Pp. 3795-3802.

23. Hurley, P. PARTPUFF - A Lagrangian particle-puff approach for plume dispersion modeling applications / P. Hurley // *Journal of Applied Meteorology*. – 1994. – Pp. 285-294.
24. Georgoulias, A.K. Spatiotemporal variability and contribution of different aerosol types to the aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean / A.K. Georgoulias, G. Alexandri et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.16. – Pp. 13853-13884.
25. Freudenthaler, V. Depolarization ratio profiling at several wavelengths in pure Saharan dust during SAMUM 2006 / V. Freudenthaler, M. Esselborn, M. Wiegner et al. // *Tellus B.* – Vol.61. – Pp. 165-179.
26. Haarig, M. Triple-wavelength depolarization-ratio profiling of Saharan dust over Barbados during SALTRACE in 2013 and 2014 / M. Haarig, A. Ansmann, D. Althausen et al. // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* – Pp. 1-43.
27. Tesche, M. Vertical profiling of Saharan dust with Raman lidars and airborne HSRL in southern Morocco during SAMUM / M. Tesche, A. Ansmann, D. Müller et al. // *Tellus. B.* – Vol.61. – Pp. 144-164.
28. Burton, S.P. Observations of the spectral dependence of linear particle depolarization ratio of aerosols using NASA Langley airborne High Spectral Resolution Lidar / S.P. Burton, J.W. Hair, M. Kahnert et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 13453-13473.
29. Haarig, M. Measurement of the Linear Depolarization Ratio of Aged Dust at Three Wavelengths (355, 532 and 1064 nm) Simultaneously over Barbados / M. Haarig, D. Althausen, A. Ansmann et al. // in: Gross et al. (2016). – P. 18009. - doi:10.1051/epjconf/201611918009. - 2016.
30. Hofer, J. Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies/ J. Hofer, D. Althausen, S.F. Abdullaev, A. Makhmudov, et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.17. – Pp. 14559-14577.
31. Nazarov, B.I. Remote sensing of the atmosphere within the framework of the CADEX / B.I. Nazarov, D. Althausen, J. Hofer, S.F. Abdullaev // *Reports of ANRT*. – 2016. – Vol.59. – No. 11-12. – Pp. 489-497.
32. Назаров, Б.И. Дистанционное зондирование атмосферы в рамках проекта CADEX/ Б.И. Назаров, Д. Альхаузен, Дж. Хофер, С.Ф. Абдуллаев // *Доклады АНРТ*. – 2016. – Т. 59. – № 11-12. – С. 489-497.

#### REFERENCES

1. Nazarov, B.I. Atmospheric aerosol of Central Asia / B.I. Nazarov, S.F. Abdullaev, V.A. Maslov. – Dushanbe: Irfon, 2016. – 378 p.
2. Piskunov, V.N. Theoretical models of the aerosol formation kinetics / V.N. Piskunov. – Sarov: RFNC –VNIIEF, 2000. – 209 p.
3. Nazarov, B.I. Bulletin of the Laboratory of Atmospheric Physics of the Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan (2005-2015) / B.I. Nazarov, S.F. Abdullaev, V.A. Maslov. – Dushanbe: Donish, 2016. – 172 p.
4. Holben, B.N. AERONET - A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization / B.N. Holben, T.F. Eck, I. Slutsker et al. // *Rem. Sens. Environ.* -V. 66. – Pp. 1-16.
5. Mikami, M. Aeolian dust experiment on climate impact: An overview of Japan China joint project ADEC/ M. Mikami, G.Y. Shi, I. Uno et al. // *Glob. Planet. Change.* – Vol.52. – Pp. 142-172.
6. Tanaka, T.Y. Possible transcontinental dust transport from North Africa and the Middle East to East Asia/ T.Y. Tanaka, Y. Kurosaki, M. Chiba et al. // *Atmos. Environ.* – Vol.39. – Pp. 3901-3909.
7. Schuster, G.L. Comparison of CALIPSO aerosol optical depth retrievals to AERONET measurements, and a climatology for the lidar ratio of dust / G.L. Schuster, M. Vaughan, D. MacDonnell et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.12. – Pp. 7431-7452.
8. Grob, S. Optical properties of long-range transported Saharan dust over Barbados as measured by dual-wavelength depolarization Raman lidar measurements / S. Grob, V. Freudenthaler, K. Schepanski et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 11067-11080.
9. Tesche, M. Vertical profiling of Saharan dust with Raman lidars and airborne HSRL in southern Morocco during SAMUM / M. Tesche, A. Ansmann, D. Müller et al. // *Tellus. B.* – Vol. 61. – Pp. 144-164.
10. Mamouri, R.E. Low Arabian dust extinction-to-backscatter ratio / R.E. Mamouri, A. Ansmann, A. Nisantzi et al. // *Geophys. Res. Lett.* – Vol.40. – Pp. 4762-4766.
11. Nisantzi, A. Middle East versus Saharan dust extinction-to-backscatter ratios / A. Nisantzi, R. E. Mamouri, A. Ansmann, G.L. Schuster, and D.G. Hadjimitsis // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 5203-5240.
12. Sakai, T. Ice clouds and Asian dust studied with lidar measurements of particle extinction-to-backscatter ratio, particle depolarization, and water-vapor mixing ratio over Tsukuba / T. Sakai, T. Nagai, M. Nakazato, et al. // *Appl. Opt.* – Vol.42. – Pp. 7103-7116.
13. Liu, Z. Extinction-to-backscatter ratio of Asian dust observed with high-spectral-resolution lidar and Raman lidar / Z. Liu, N. Sugimoto, and T. Murayama // *Appl. Opt.* – Vol.41. – Pp. 2760-2767. - doi:10.1364/AO.41.002760. - 2002.
14. Tesche, M. Particle backscatter, extinction, and lidar ratio profiling with Raman lidar in south and north China / M. Tesche, A. Ansmann, D. Müller, et al. // *Appl. Opt.* – Vol.46. – Pp. 6302-6308. - doi:10.1364/AO.46.006302. - 2007.

15. Müller, D. Aerosol-type-dependent lidar ratios observed with Raman lidar / D. Müller, A. Ansmann, I. Mattis et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol.112. - doi:10.1029/2006JD008292. - 2007.
16. Dieudonné, E. Lidar profiling of aerosol optical properties from Paris to Lake Baikal (Siberia) / E. Dieudonné, P. Chazette, M. Marnas et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 5007-5026. - doi:10.5194/acp-15-5007-2015. - 2015.
17. Tsunematsu, N. Extensive dust outbreaks following the morning inversion breakup in the Taklimakan Desert / N. Tsunematsu, T. Sato, F. Kimura et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol.110. - doi:10.1029/2005JD005994, d21207. - 2005.
18. Chen, B. Optical and microphysical characteristics of aerosol structures in Central Asia - in: *International Conf. on Lasers, Applications, and Technologies 2007: / B. Chen and L. Sverdlík // Environmental Monitoring and Ecological Applications; Optical Sensors in Bio, Chemical, and Engineering Technologies; and Femtosecond Laser Pulse Filamentation.* – Vol.6733. -doi:10.1117/12.753117. - 2007.
19. Iwasaka, Y. Importance of dust particles in the free troposphere over the Taklamakan Desert: Electron microscopic experiments of particles collected with a balloonborne particle impactor at Dunhuang, China / Y. Iwasaka, G. Y. Shi, M. Yamada et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol.108. – P. 8644. - doi:10.1029/2002JD003270. - 2003.
20. Burton S.P., Vaughan M.A., Ferrare R.A., and Hostetler C.A. Separating mixtures of aerosol types in airborne High Spectral Resolution Lidar data / S.P. Burton, M.A. Vaughan, R.A. Ferrare, and C.A. Hostetler // *Atmos. Meas. Tech.* – Vol.7. – Pp. 419-436. - doi:10.5194/amt-7-419-2014. - 2014.
21. Cairo, F. Comparison of various linear depolarization parameters measured by lidar / F. Cairo, G. Di Donfrancesco, A. Adriani, et al. // *Appl. Opt.* – Vol.38. – Pp. 4425-4432. - doi:10.1364/AO.38.004425. - 1999.
22. Gimmestad, G.G. Reexamination of depolarization in lidar measurements / G.G. Gimmestad // *Appl. Opt.* – Vol.47. – Pp. 3795-3802.
23. Hurley, P. PARTPUFF - A Lagrangian particle-puff approach for plume dispersion modeling applications / P. Hurley // *Journal of Applied Meteorology.* – 1994. – Pp. 285-294.
24. Georgoulias, A.K. Spatiotemporal variability and contribution of different aerosol types to the aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean / A.K. Georgoulias, G. Alexandri et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.16. – Pp. 13853-13884.
25. Freudenthaler, V. Depolarization ratio profiling at several wavelengths in pure Saharan dust during SAMUM 2006 / V. Freudenthaler, M. Esselborn, M. Wiegner et al. // *Tellus B.* – Vol.61. – Pp. 165-179.
26. Haarig, M. Triple-wavelength depolarization-ratio profiling of Saharan dust over Barbados during SALTRACE in 2013 and 2014 / M. Haarig, A. Ansmann, D. Althausen et al. // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* – Pp. 1-43.
27. Tesche, M. Vertical profiling of Saharan dust with Raman lidars and airborne HSRL in southern Morocco during SAMUM / M. Tesche, A. Ansmann, D. Müller et al. // *Tellus. B.* – Vol.61. – Pp. 144-164.
28. Burton, S.P. Observations of the spectral dependence of linear particle depolarization ratio of aerosols using NASA Langley airborne High Spectral Resolution Lidar / S.P. Burton, J.W. Hair, M. Kahnert et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.15. – Pp. 13453-13473.
29. Haarig, M. Measurement of the Linear Depolarization Ratio of Aged Dust at Three Wavelengths (355, 532 and 1064 nm) Simultaneously over Barbados / M. Haarig, D. Althausen, A. Ansmann et al. // in: Gross et al. (2016). – P. 18009. - doi:10.1051/epjconf/201611918009. - 2016.
30. Hofer, J. Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies / J. Hofer, D. Althausen, S.F. Abdullaev, A. Makhmudov, et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol.17. – Pp. 14559-14577.
31. Nazarov, B.I. Remote sensing of the atmosphere within the framework of the CADEX / B.I. Nazarov, D. Althausen, J. Hofer, S.F. Abdullaev // *Reports of AS RT.* – 2016. – Vol.59. – No. 11-12. – Pp. 489-497.

### **БАЪЗЕ НАТИЧАҲОИ ОМУЪЗИШИ АТМОСФЕРА БО ИСТИФОДАИ ЛИДАР ДАР Ш.ДУШАНБЕ**

Дар ҷараёни озмоиши ҷангу ғубори Осиёи Марказӣ(ОМ) аз соли 2015 инҷониб қабатҳои ҷангу ғубор аксар вақт аз баландии тропопаузаи амудӣ дар минтақаҳои Африко, Шарқи Наздик ва ОМ сарчашма дошта бо истифода аз лидари поляризатсияи бисёрмавҷи POLLY-XT мушоҳида шуданд. Дар ин мақола ҷаҳор ҳолати ҳоси андозагирии ҷенқунӣ, ки ҳоси ин шароитҳои минтақаи таҳқиқотӣ мебошанд, ба монанди қабатҳои баланди ҷангу ва ҳодисаҳои шадиди ҷангро баррасӣ шудааст. Дар муқоиса бо ҷанги интиқоли дур, ифлосшавии аэрозолии атмосфераи пайдоиши маҳаллӣ дар Тоҷикистон ба аэрозол таъсири сусти антропогенӣ дорад. Коэффитсиентҳои мушоҳидашудаи деполяризатсияи хатии зарраҳо барои эпизодҳои ҷанг аз 0,18 то 0,29 барои дарозии мавҷи 355нм ва аз 0,31 то 0,35 барои 532нм муайян карда шудаанд. Намунаҳои пешниҳодшудаи профилҳои баландии қабати хоки ОМ дар ҳарду дарозии мавҷ деполяризатсияи баланд доштанд, ки ин шаҳодати ҷангу ғубори маҳаллӣ аст. Қабати болоии ҷанги интиқоли дур Шарқи Наздик буда коэффитсиентҳои деполяризатсияи каме пасттар дорад, махсусан барои



дарозии мавчи 355 нм. Бо вучуди ин, маълумот то ҳол нишон медиҳад, ки пас аз интиқоли чангу ғубор аз масофаи дур ба Осиёи Марказӣ олудашавии пасти хоки маҳаллӣ мушоҳида мешавад. Таносуби мушоҳидашудаи лидар дар чунин чанг барои дарозии мавчи 355 нм аз 40,3 то 46,9 sr ва барои дарозии мавчи 532 нм аз 35,7 то 42,9sr аст. Ин таносуби лидар нисбат ба коэффитсиентҳои маълумии лидар барои чангу ғубори Саҳара (50-60 sr) камтаранд ва бо таносуби лидари хоки Шарқи Наздик ва Осиёи Ғарбӣ (35-45 sr) муқоиса карда мешаванд.

**Калидвожаҳо:** таҷрибаи чанги Осиёи Марказӣ, зонди лазерии атмосфера, интрузияи чанг, таҷрибаи чангӣ, усули масири баръакс, минтакаи нимхушк, коэффисиенти паркандашави ба ақиб, коэффисиенти экстинсия, таносуби лидарӣ, консентратсияи массивии чанг.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ Г. ДУШАНБЕ С ПОМОЩЬЮ ЛИДАРА

Во время Центральноазиатского пылевого эксперимента с 2015года с помощью многоволнового поляризационного лидара POLLY-XT пылевые слои часто наблюдались с высоты вертикальной тропопаузы с регионами-источниками в Африке, на Ближнем Востоке и в Центральной Азии. В настоящей статье рассмотрено четыре характерных случая измерений, которые являются типичными для этих условий в районе проведения исследований, такие как поднятые слои пыли и экстремальные пылевые события. В отличие от пыли дальнего переноса, аэрозольное загрязнение атмосферы местного происхождения в Таджикистане подвергается слабому антропогенному воздействию на аэрозоль. Наблюдаемые коэффициенты линейной деполаризации частиц для пылевых эпизодов варьируются в диапазоне от 0.18 до 0.29 при 355 нм и от 0.31 до 0.35 при 532 нм. Представленные примеры высотных профилей приземного слоя пыли из ЦА имели высокую деполаризацию на обеих длинах волн, указывающих на местную пыль. Представленный верхний слой пыли из ближневосточной пыли дальнего переноса имел несколько более низкие коэффициенты деполаризации, особенно при 355 нм. Тем не менее, данные по-прежнему указывают на слабое местное загрязнение пыли после переноса на большие расстояния в Центральную Азию. Наблюдаемые лидарные отношения в такой пыли варьируются в диапазоне от 40.3 до 46.9 стеррадиан при 355 нм и от 35.7 до 42.9 стеррадиан при 532 нм. Эти значения лидарного отношения ниже, чем типичные лидарные отношения для сахарской пыли (50 - 60 стеррадиан) и сопоставимы с лидарными отношениями пыли с Ближнего Востока и Западной Азии (35 - 45 стеррадиан).

**Ключевые слова:** центральноазиатский пылевой эксперимент, лазерное зондирование атмосферы, пылевое вторжение, пылевой эксперимент, метод обратной траектории, полуаридная зона, коэффициент обратного рассеяния, коэффициент экстинкции, лидарное отношение, массовая концентрация пыли.

## SOME RESULTS OF LASER SOUNDING OF THE ATMOSPHERE USING POLLY-XT LIDAR IN DUSHANBE

During the Central Asian Dust Experiment (CADEX) since 2015, dust layers have often been observed from the height of the vertical tropopause with source regions in Africa, the Middle East, and Central Asia (CA) using the POLLY-XT multiwave polarization lidar. This article considers four characteristic measurement cases that are typical of these conditions in the study area, such as raised dust layers and extreme dust events. In contrast to long-range dust, aerosol pollution of the atmosphere of local origin in Tajikistan is subject to weak anthropogenic impact on aerosol. The observed coefficients of linear depolarization of particles for dust episodes range from 0.18 to 0.29 at 355 nm and from 0.31 to 0.35 at 532 nm. The presented examples of height profiles of the ground layer of dust from CA had high depolarization at both wavelengths, indicating local dust. The upper layer of dust from the Middle East long-range dust presented had slightly lower depolarization coefficients, especially at 355 nm. However, data still indicate low local dust contamination after long-range transport to CA. The observed lidar ratios in such dust range from 40.3 to 46.9 sr at 355 nm and from 35.7 to 42.9 sr at 532 nm. These lidar ratios are lower than typical lidar ratios for Saharan dust (50 - 60 sr) and are comparable to lidar ratios for dust from the Middle East and West Asia (35 - 45 sr).

**Keywords:** Central Asian dust experiment, atmospheric laser sounding, dust intrusion, dust experiment, back trajectory method, semi-arid zone, backscattering coefficient, extinction coefficient, lidar ratio, dust mass concentration.

*Маълумот дар бораи муаллиф:* Нозиров Диловар Фозилҷонович – PhD-докторанти лабораторияи физикаи атмосфераи ИФТ ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/1. **Телефон:** (+992) 937-77-71-64. **E-mail:** dilovarnozirov@gmail.com.

**Ҷулиан Хофер** – н.и.ф.м., ходими калони илмии гурӯҳи Лидари Институти таҳқиқоти тропосферии Олмон ба номи Лейбнис. **Суроға:** 04318, Олмон, ш. Лейпсиг, Пермосер,15. **E-mail:** hofer@tropos.de.

**Фарход Рахимӣ** – д.и.ф.м., академик, Президенти Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 33. **Телефон:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Абдуллаев Сабур Фузайлович** – д.и.ф.м., мудири лабораторияи физикаи атмосфераи ИФТ ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/1. **Телефон:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Бобоева Нилуфар Ҷамshedовна** – магистранти Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/1. **Телефон:** (+992) 931-80-80-63. **E-mail:** nilufarboboeva@gmail.com.

**Сведения об авторах: Нозиров Диловар Фозилджонович** – Ph.D докторант лаборатории физики атмосфери ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Аини, 299/1. **Телефон:** (+992) 937-77-71-64. **E-mail:** dilovarnozirov@gmail.com.

**Джулиан Хофер** – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник группы Лидар Института тропосферных исследований им. Лейбница. **Адрес:** Германия, г. Лейпциг Пермосер, 15 индекс-04318. **E-mail:** hofer@tropos.de.

**Фарход Рахими** – д.ф.-м.н., академик, Президент Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33. **Телефон:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Абдуллаев Сабур Фузайлович** – д.ф.-м.н., зав. лабораторией физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова, Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Аини, 299/1. **Телефон:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Бобоева Нилуфар Ҷамshedовна** – магистрант лаборатории физики атмосфери ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33. **Телефон:** (+992) 931-80-80-63. **E-mail:** nilufarboboeva@gmail.com.

**Information about the authors: Nozirov Dilovar Foziljonovich** – Ph.D student of the Laboratory of Atmospheric Physics of Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov of National academy of Science of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Avenue, 299/1. **Phone:** (+992) 937-77-71-64. **E-mail:** dilovarnozirov@gmail.com.

**Julian Hofer** – Ph.D., Leipzig, Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS). **Address:** 04318, Leipzig, Germany, Permoser Street, 15. **E-mail:** hofer@tropos.de.

**Farhod Rakhimi** – prof., Academician, President of National Academy of Science of Tajikistan, **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 33. **Phone:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Abdullaev Sabur Fuzaylovich** – Doctor, prof., Head of the Laboratory of Atmospheric Physics of Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov of National academy of Science of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Street, 299/1. **Phone:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Boboeva Nilufar Jamshedovna** – a master's student of the Laboratory of Atmospheric Physics of Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov of National academy of Science of Tajikistan. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Avenue, 299/1. **Phone:** (+992) 931-80-80-63. **E-mail:** nilufarboboeva@gmail.com.

**Рецензент:** Норматов И.Ш. – доктор химических наук, профессор Таджикского национального университета

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ЛИДАРА В Г. ДУШАНБЕ

<sup>3</sup>Нозиров Д.Ф., <sup>2</sup>Хофер Дж., <sup>1</sup>Фарход Рахими,

<sup>1</sup>Абдуллаев С.Ф., <sup>1</sup>Бобоева Н.Дж.

<sup>1</sup>Национальная академия наук Таджикистана

<sup>2</sup>Институт тропосферных исследований им. Лейбница

<sup>3</sup>Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ

**Введение.** Используемый в г. Душанбе прибор представляет собой многоволновый поляризационный / рамановский лидар PollyXT (PortabLe Lidar System). Символы XT в обозначении модели PollyXT означают, что он имеет расширенную версию [1] и принадлежит к сети постоянных или временных систем PollyNET [2]. Этот специфический прибор PollyXT уже использовался во многих экспериментах в прошлом [2-21]. Для Центрально-азиатского эксперимента (ЦАПЭКС) этот PollyXT был модернизирован вторым каналом деполяризации при 355 нм [22].

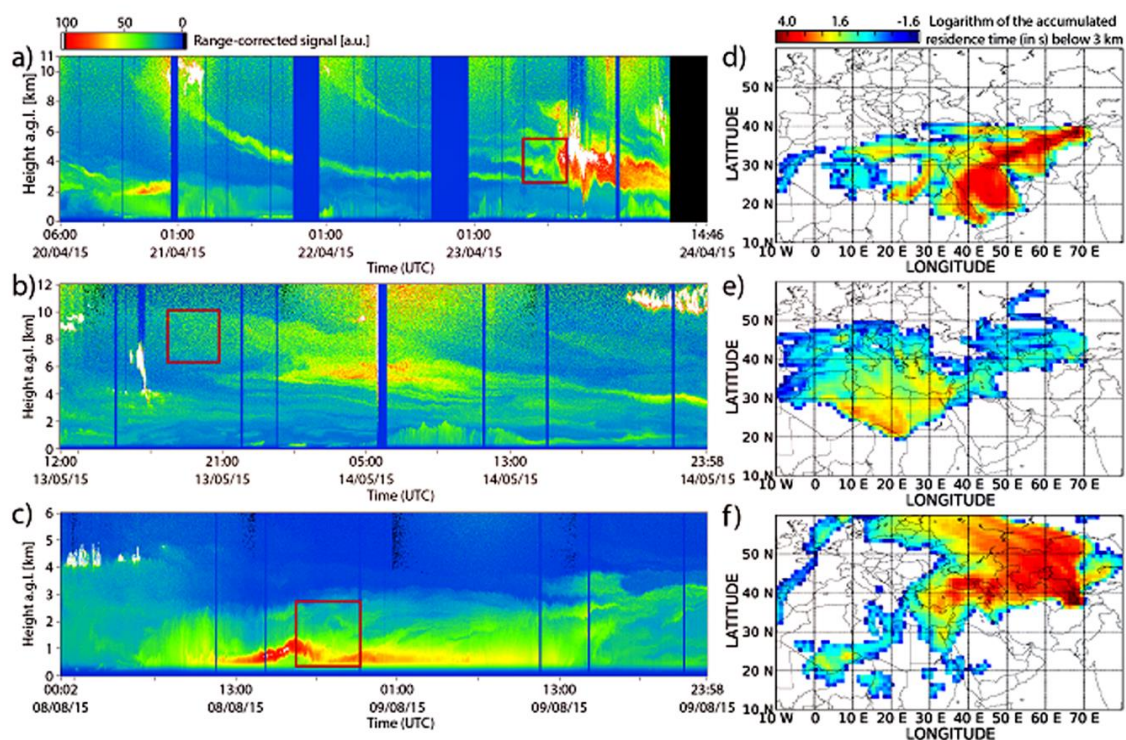
### Обсуждение представленных результатов

#### *1. Иллюстрация примеров измерения*

Иллюстрация часто наблюдаемого множества и сложность пылевых слоев над Таджикистаном, примеры пылевых слоев различного происхождения, присутствующих на всех высотах от поверхности приземного слоя до уровня облаков, представлены на рис. 1. На рис. 1 (а) показано временное развитие сигнала с коррекцией диапазона канала при 1064 нм с 20 по 24 апреля 2015 года. Во время этих четырех дней были зарегистрированы над Таджикистаном многократные пылевые слои. Отметим, что 20 апреля 2015 года были зарегистрированы аэрозольные слои до уровня 4км. В то же время нисходящие пылевые слои пересекали лидарную станцию на высотах около 10км, а 22 апреля 2015 года второй слой пыли достиг высоты 10км, который снова опустился. Согласно данных обратной траектории FLEXPART (Рис. 1 (d)), Аравийский полуостров, Иран, а также частично Узбекистан и Туркменистан, были источниками образования пыли. В случае 13 мая 2015 года был измерен высотный аэрозольный слой, достигающий высоты примерно от 6,5 до 10км (Рис. 1 (b)).

**Рисунок 1. Иллюстрация примеров измерения аэрозольных слоев, наблюдаемых с помощью PollyXT в городе Душанбе, в частности до уровня облаков (высота 10км)**

**Figure 1. Illustration of examples of measurements of aerosol layers observed with PollyXT in the city of Dushanbe, in particular up to the level of clouds (altitude 10 km)**



Анализ обратной траектории по FLEXPART показывает, что этот высокий слой был перенесен из дальних расстояний к месту измерения из Средиземноморского / Северо-Африканского региона (Рис. 1 (e)). Третьим сценарием является приземный пылевой слой (Рис. 1 (c)), подробно описанный в разделе 4.5, **В) случай-2**, (Рис. 11), который был измерен 8 - 9 августа 2015 года и имел источники в Центральной Азии (Рис. 1 (f)), (табл.1).

Временное развитие сигнала с коррекцией диапазона (временное разрешение 30 секунд, а разрешение по вертикали 7.5метров) в канале на 1064 нм, а именно:

- a) С 20 апреля 2015 года (Время 06:00 UTC) по 24 апреля 2015 года (Время 14:46 UTC);
- b) С 13 мая 2015 года (Время 12:00 UTC) по 14 мая 2015 года (Время 23:58 UTC);
- c) С 8 августа 2015года (Время 00:02 UTC) по 9 августа 2015года (23:58 UTC).

Синие прямоугольники обозначают периоды, когда измерения не проводились. Правые панели - исходные области наблюдаемого аэрозоля, идентифицированные на основе модели FLEXPART. Первый верхний слой (a) имеет ближневосточные источники (d),

Второй верхний слой (b) имеет североафриканские источники (e), а третья низкая укладка пыли (c) имеет ЦА источники (f).

Темно-красные квадраты в левых панелях указывают высоту и время прибытия рассчитанных обратных траекторий в контексте лидарных измерений.

Левая панель Рисунка показывает логарифм накопленного времени пребывания ниже 3км (c) в течение 168 ч.

Обратные траектории FLEXPART, прибывающие выше города Душанбе:

- d) На 23 апреля 2015 года по времени 20: 30 - 21: 30 UTC между 2,7 и 5 км высотой;

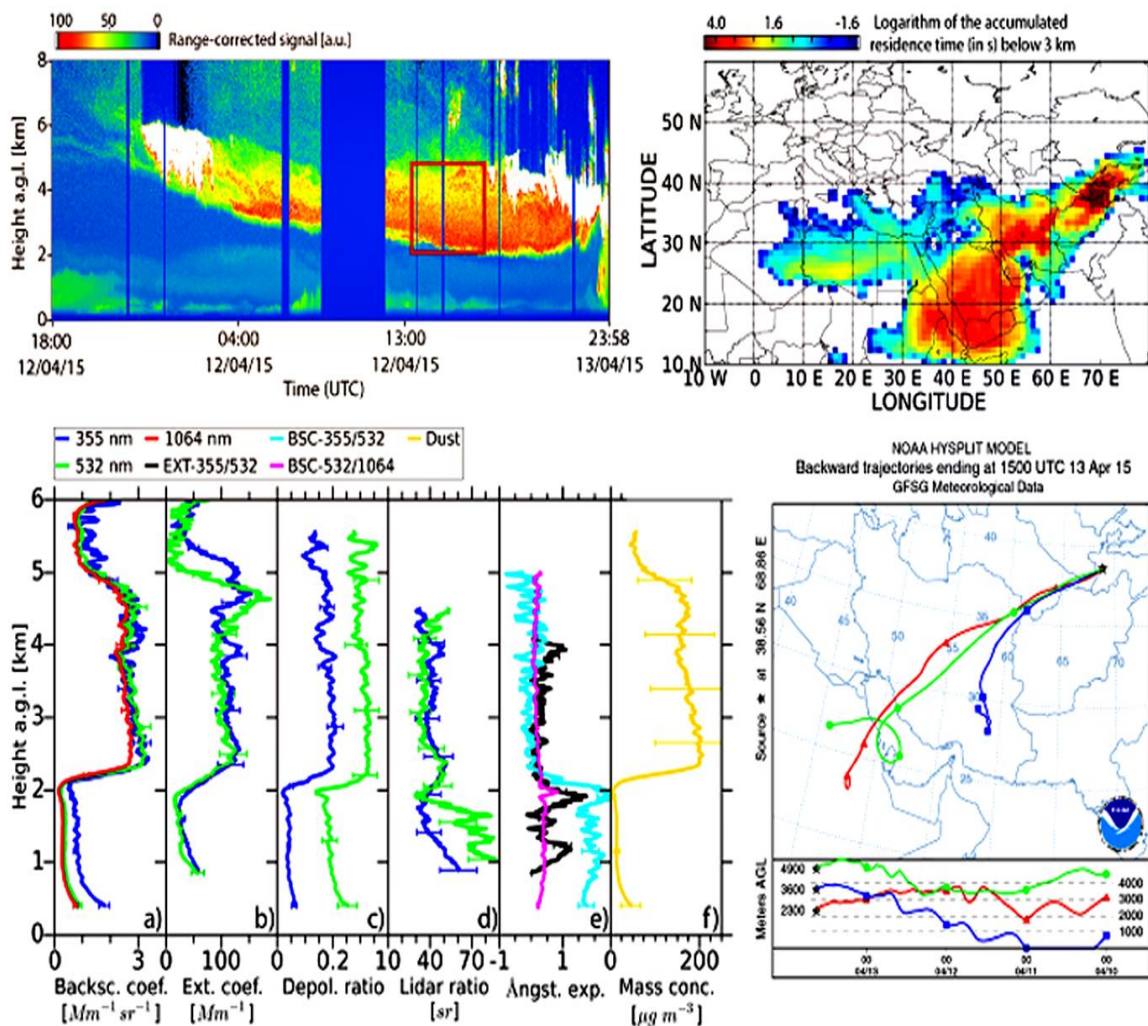
е) На 13 мая 2015 года по времени 17:30 - 18:30 UTC между 6,6 и 9,9 км высотой;

ф) На 8 августа 2015 года по времени 21: 30 - 22: 30 UTC между 0,5 и 3,1 км высотой.

В следующих разделах мы более подробно обсудим следующие четыре сильно-контрастных случая:

(1) пыль верхнего слоя пылевого события из Ближнего Востока, которое произошло 13 апреля 2015г. (случай -1, Рис. 2);

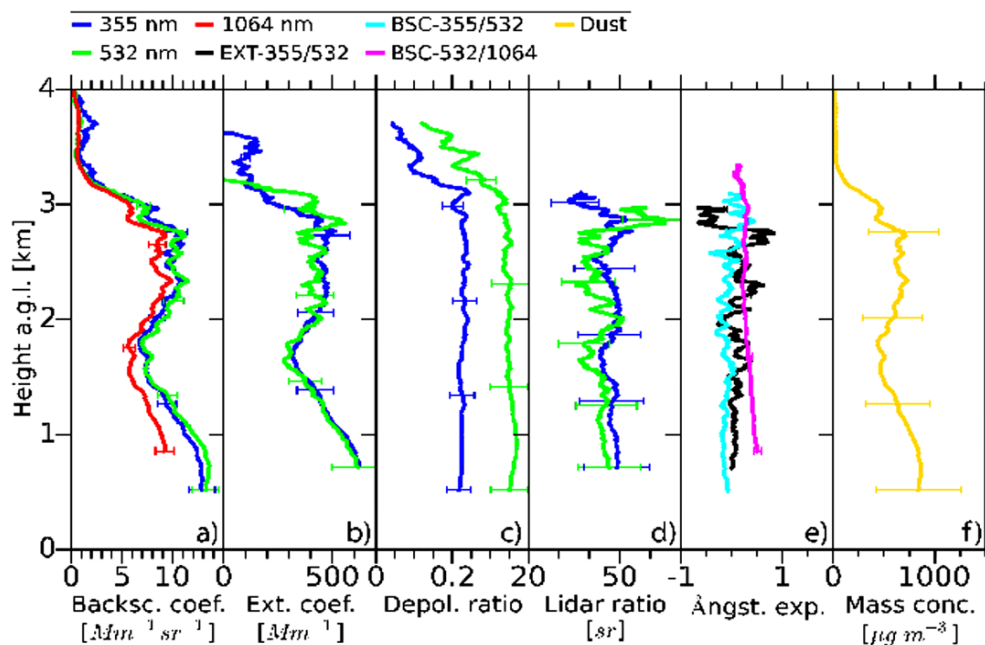
**Рисунок 2. Случай - 1. Показан верхний слой с пылью из Ближнего Востока**  
**Figure 2. Case - 1. Top layer showing dust from the Middle East**



Верхняя левая панель, такая же, как на рис. 1 (левые панели), но на 12 апреля 2015 года по времени - 18:00 UTC и 13 апреля 2015 года по времени - 23:58 UTC. Нижняя левая панель это усредненные лидарные профили были измерены 13 апреля 2015 года по времени - 15:10 - 16:08 UTC. Лидарные сигналы сглаживаются перед вычислением оптических свойств, связанных с экстинкцией (743 м) и обратным рассеянием. (68 м).

Рисунок 3. Случай - 2. Показана экстремальная приземная пыль с АОТ выше 1.5 (на длине волны 500 нм) и расчетная массовая концентрация пыли 845 мкг/м<sup>3</sup>

Figure 3. Case -2. Extreme ground dust with an AOT above 1.5 (at 500 nm) and an estimated dust mass concentration of 845 μg/m<sup>3</sup> is shown



(2) чрезвычайное пылевое событие с пылью из ЦА, которое было зарегистрировано 8 и 9 августа 2015 г. (случай - 2, Рис. 3);

(3) самое экстремальное пылевое событие, которое наблюдалось 14 июля 2016 года (случай-3, Рис. 4); во время эксперимента ЦАПЕКС - CADEX с пылью источников из ЦА;

(4) контрастный случай с уровнем загрязнения местного происхождения, который был измерен 13 мая 2015 года (случай-4, Рис. 5).

**a)** Коэффициент обратного рассеяния частиц при 355 нм, 532 нм и 1064 нм;

**b)** Коэффициент экстинкции частиц;

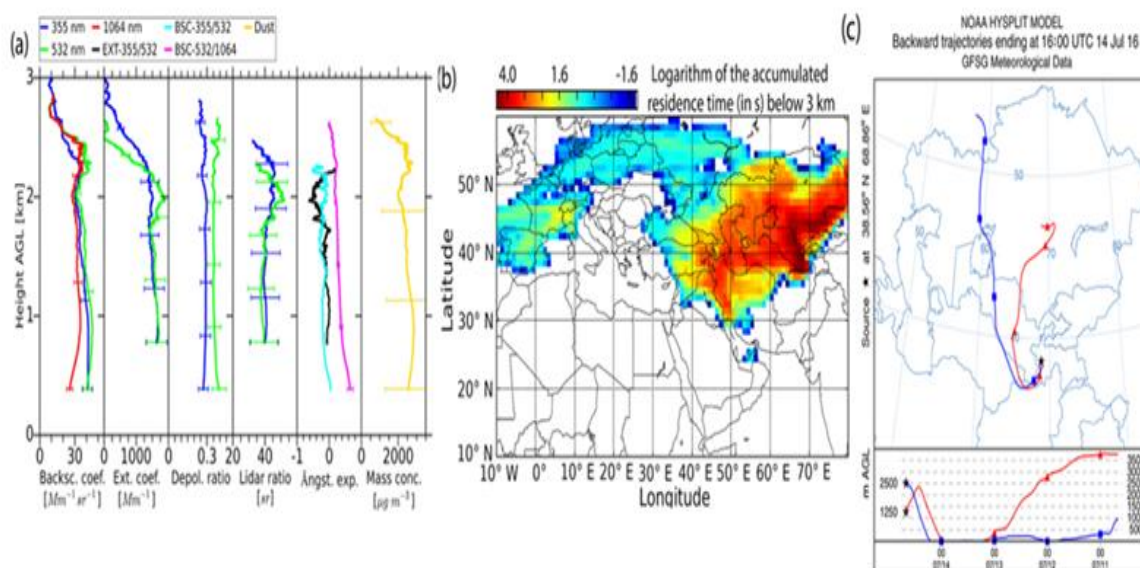
**c)** Коэффициент линейной деполяризации частиц;

**d)** Лидарное отношение при 355 нм и 532 нм;

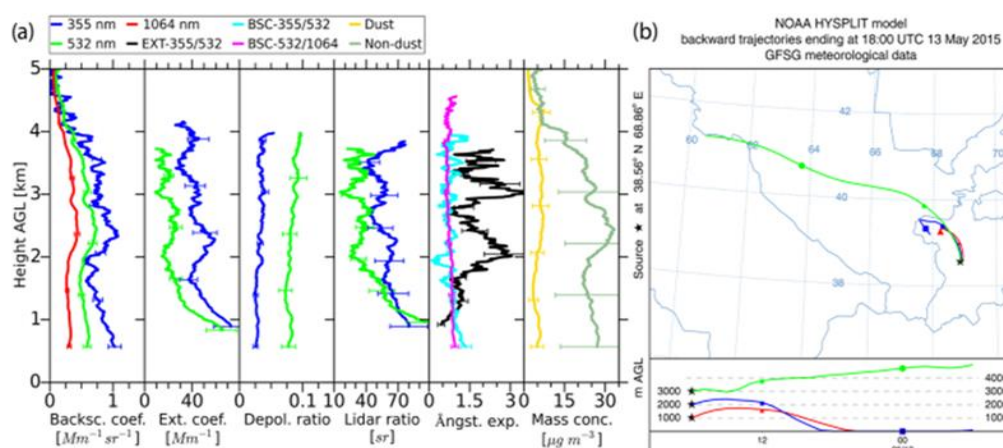
**e)** Показатель, связанный с экстинкцией при 355 нм и при 532 нм (черный).

**Рисунок 4. Случай - 3. Показан рекордный уровень с АОТ выше 4 при 500 нм и расчетной массовой концентрацией пыли равной 2,8 мг/м<sup>3</sup>**

**Figure 4. Case - 3. Record level shown with AOT above 4 at 500 nm and calculated dust mass concentration of 2.8 mg/m<sup>3</sup>**



**Рисунок 5. Случай - 4. Показан контрастный случай с местным загрязнением**  
**Figure 5. Case - 4. A contrasting case with local contamination is shown.**



Показатель при 355 нм и 532 нм (цвет морской волны), связанный с обратным рассеянием и показатель экспоненты, связанный с обратным рассеянием при 532 нм и 1064 нм (пурпурный).

Исходные области этой пыли лежат в Центральной Азии (Рис. 1 (f)). Усредненные лидарные профили измеряли 8 августа 2015 года по времени от 22:20 до 23:57 UTC. Лидарные сигналы сглаживаются перед вычислением оптических свойств, связанных с экстинкцией (458 м) и обратным рассеянием (68 м). а) - f) то же, что и на рис. 1 (нижняя левая панель).

f) Массовая концентрация пыли. Верхняя правая панель: FLEXPART обратная траектория такая же, как на рис. 1 (правые панели), но прибывающая 13 апреля 2015 года по времени - 14: 30 - 15: 30 UTC между 2.3 и 4.9 км. Нижняя правая панель - 96h HYSPLIT обратная траектория, прибывающие в городе Душанбе по времени - 18:00 UTC на высоте 2,3, 3,6 и 4,9 км.

### **А) Случай - 1. Измерения 13 апреля 2015 года, пыль верхнего слоя**

На рис. 2 показана временная динамика сигнала с коррекцией диапазона при 1064 нм длинноволнового канала 12 - 13 апреля 2015 года. Пылевой слой прибыл в город Душанбе 12 апреля 2015 года на высоте от 5 до 6 км. Медленно нисходящий пылевой слой (красный) содержал плотные облака (серый). 13 апреля 2015 г. слой пыли увеличился до высот примерно 2.5 - 5 км. Его база была очень резкой, а поверхность слоя более тонкой и слой аэрозоля измерялся до 7 км. В конце этого дня происходит смещение пыли с пограничного слоя в местоположение установки. Обратные траектории HYSPLIT показывают, что прибывающие 13 апреля 2015 года воздушные потоки поступают из юго-западного направления (Рис. 2, верхняя правая панель). Верхняя и нижняя траектории происходят с Аравийского полуострова и проходят по центральному Ирану вдоль границы между Афганистаном и Туркменистаном. Верхняя траектория всегда находится на высоте более 3 км от поверхности Земли, а нижняя траектория достигает высоты менее 2 км один раз над Аравийским полуостровом. Центральная траектория исходит из более южного направления, пролетая южные районы Ирана, где она достигает самого низкого уровня (ниже 1 км) над иранской пустыней Дашти-Лут.

Подобно HYSPLIT, обратные траектории FLEXPART в качестве исходных областей источника пыли (Рис.2, нижняя правая панель) указывают на Иран, включая его южные части, и на большую часть Аравийского полуострова. В отличие от HYSPLIT, обратные траектории FLEXPART располагались частично над Афганистаном.

Вертикальные профили оптических свойств этого пылевого слоя рассмотрены на рис. 1 (нижняя левая панель). Коэффициент линейной деполяризации частиц при 532 нм в среднем равен 0.31 и 0.35. Это показывает, что данный поднятый слой пыли состоит из почти незагрязненной пыли. Показатели деполяризации чистой ближневосточной пыли были найдены в диапазоне от 0.3 до 0.35 при 532 нм [23, 24]. Среднее лидарное отношение составляет  $36.3 \pm 1.9$  стерadian при 532 нм, что сопоставимо с измерениями для ближневосточной пыли [23, 25]. Верхний слой пыли имеет максимальную массовую концентрацию равную  $196 \text{ мкг/м}^3$  в нижней части слоя на высоте 2.7 км. В середине слоя, на высоте 3.5 км, концентрация пыли достигает  $171 \text{ мкг/м}^3$ . Интегрированная пылевая масса до высоты 5 км составляет  $0,51 \text{ г/м}^2$ .

### **В) Случай - 2. Измерения 8-9 августа 2015 года, экстремальное наличие пыли**

Событие экстремальной пыли было зарегистрировано 8 и 9 августа 2015 года. На рис. 1. (с) показана временная динамика сигнала с коррекцией диапазона при 1064 нм на 8-9 августа 2015 года, пыль поднялась с развитием конвективного пограничного слоя. Это привело к очень сильному сигналу в самых низких слоях на высоте 1.5 км с пылью, простирающейся на расстояние примерно до 3 км.

Траектории FLEXPART, прибывающие 8 августа 2015 года (Рис. 1 (f)), демонстрируют большую площадь к северо-западу от Таджикистана с высоким накопленным временем пребывания, даже к востоку от Каспийского моря.

Вертикальные профили оптических свойств этого пылевого слоя рассмотрены на рис. 3. Коэффициенты экстинкции частиц при 355 нм и 532 нм составляют около  $550 \text{ Мм}^{-1}$  при высоте 1 км. По-видимому, слой разделен на две части. Максимум в первом 1 км слое над Землей, а затем снова на высоте 2.5 км. Но, глядя на интенсивное распределение, заметно, что особенное линейное деполяризационное отношение частиц и экспоненциальный показатель и непрерывные признаки являются узнаваемыми. Двойной слой, вероятно, содержит один и тот же аэрозоль и происходит из той же самой области источника, поскольку имеет почти идентичные оптические



свойства. Видимая граница слоя на высоте 1.6 км, вероятно, формируется суточным циклом пограничного слоя.

Средние коэффициенты линейной деполяризации частиц выше, чем до верхнего слоя пыли (**случай - 1**), в среднем 0.35 при 532 нм. Максимальная концентрация пыли в этом экстремальном приземном слое пыли составляет  $845 \text{ мкг/м}^3$  при высоте 0.65 км, в середине слоя минимум составляет  $475 \text{ мкг/м}^3$  на высоте 1.7 км. В верхней части на высоте 2.4 км массовая концентрация пыли снова составляет  $663 \text{ мкг/м}^3$ . Интегрированная пылевая масса до уровня 4 км высоты составляет  $3,2 \text{ г/м}^2$ .

#### **С) Случай - 3. Измерения 14 июля 2016 года, самый экстремальный случай пылевого вторжения**

Самое экстремальное пылевое событие во время эксперимента ЦАПЕКС произошло 14 июля 2016 года. Пыль сохранялась в течение следующих четырех дней (Рис. 4). Траектории FLEXPART прибывающей пыли 14 июля 2016 года (Рис. 4, правая панель) показывают большое накопление по времени их пребывания так далеко от западных районов Ирана, но самые высокие значения оказываются в период их пребывания в Узбекистане. Накопленное время пребывания над Казахстаном также является высоким, но они также достигают территорий к востоку от озера Балхаш, отличающиеся от 8 августа 2015 года (рис. 1 (f)). Вертикальные профили измеренных оптических свойств этого пылевого слоя представлены на рис. 4, (левая панель). Коэффициенты экстинкции частиц аэрозолей при 355 нм и 532 нм составляют около  $1.7 \text{ км}^{-1}$  на высоте 1 км (рис. 4, левая панель, (б)). Значения АОТ составляли 3.89 при 532 нм, что намного выше, чем долгосрочное среднее значение 10-кратного стандартного отклонения (см. Раздел «Обзор данных по системе АЭРОНЕТ»). 14 июля 2016 года с помощью солнечного фотометра АЭРОНЕТ зафиксирован самый высокий среднесуточный показатель АОТ с начала эксперимента в г. Душанбе. Таким образом, это пылевое событие можно назвать рекордным, как и чрезвычайное пылевое событие в сентябре 2015 года в Средиземноморье [24]. Среднее линейное отношение деполяризации аэрозольных частиц при 355 нм составляло  $0.29 \pm 0.01$  и, следовательно, было выше, чем в **случае - 2**, а при 532 нм было равным  $0.35 \pm 0.01$ . Расчетная массовая концентрация пылевого вторжения для этого самого экстремального пылевого события была наибольшей на высоте 1 км и составляла  $2.8 \text{ мг/м}^3$ . Интегрированная пылевая масса до высоты 2.7 км составляла  $6.5 \text{ г/м}^2$ .

#### **Д) Случай - 4. Измерения 13 мая 2015 г., контрастный случай с местным загрязнением**

На рис. 1 (б) показана временная динамика сигнала с коррекцией диапазона при 1064 нм 13-14 мая 2015 г. Было зарегистрировано несколько аэрозольных слоев, распределенных на высоте до 10 км. Обратные траектории HYSPLIT, прибывающие 13 мая 2015 г., рассмотрены на рис. 5 (правая панель). Верхняя траектория идет с северо-запада Таджикистана, а нижняя в тот же день достигает уровня Земли, что указывает на вклад местного загрязнения в слое более низкого уровня аэрозоля.

Вертикальные профили измеренных оптических свойств представлены на рис. 5. Коэффициенты экстинкции частиц в слое около 2-4 км составляют около  $40 \text{ Мм}^{-1}$  при 355 нм и  $20 \text{ Мм}^{-1}$  при 532 нм. Этот аэрозольный слой практически не деполяризуется, а параметр Ангстрема составляет  $2.07 \pm 0.72$ . Массовая концентрация пыли на высоте 2.5 км достигает значения  $6.9 \text{ мкг/м}^3$ , а для концентрации без пыли в то же время доминирует значение  $30,7 \text{ мкг/м}^3$ . Интегрированная пылевая масса до высоты 10.4 км составляет  $0.05 \text{ г/м}^2$ , а интегрированная масса без пыли равна  $0.13 \text{ г/м}^2$ . Наконец, обзор отдельных случаев приведен в таблице 20, где суммируются интенсивные оптические свойства и АОТ представленных в примерах случаях.

В данной работе описаны четыре различных примера измерений (табл.1). Два из них относятся к весне, один - к лету 2015 года, и последний - к лету 2016 года. Ранней весной АОТ была преимущественно низкой (0.3) (Рис. 1), но произошло много событий.

**Таблица 1. Обзор по выбранным примерам (ночные измерения)**

**Table 1. Overview of selected examples (night measurements)**

| Случай*                               | Случай - 1<br>Пыль верхней<br>границы | Случай - 2<br>Экстремальная<br>пыль | Случай - 3<br>Сверхэкстремаль-<br>ная пыль | Случай - 4<br>Загрязнение |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| Регион источника                      | Ближний<br>Восток                     | Центральная<br>Азия                 | Центральная Азия                           | Местный                   |
| Дата                                  | 13.04.2015                            | 08.08.2015                          | 14.07.2016                                 | 13.05.2015                |
| Время [UTC]                           | 15:10-16:09                           | 22:20-23:57                         | 16:00-21:59                                | 18:10-22:00               |
| Высота слоя (км<br>над уровнем Земли) | 2.3-4.9                               | 0-3.1                               | 0-2.6                                      | 0-4.1                     |
| S355                                  | 42.2±3.0                              | 46.9±2.1                            | 40.3±0.6                                   | 55.8±7.1                  |
| S532                                  | 35.7±1.7                              | 42.9±3.2                            | 38.7±1.0                                   | 32.8±6.4                  |
| δ P355                                | 0.18±0.02                             | 0.23±0.01                           | 0.29±0.01                                  | 0.03±0.01                 |
| δ P532                                | 0.31±0.01                             | 0.35±0.01                           | 0.35±0.01                                  | 0.08±0.01                 |
| τ лидар                               | 0.40 (0—<br>5.4 км)                   | 1.50 (0—4.1 км)                     | 3.89 (0—3 км)                              | 0.13 (0—<br>4.5 км)       |
| τ фотометр                            | 0.41 (1)                              | 1.19 (2),<br>1.69 (3)               | 4.45 (4), 2.89 (5)                         | 0.18 (6)                  |
| α 355/532                             | 0.41 ± 0.24                           | 0.12 ± 0.16                         | -0.08 ± 0.06                               | 2.07 ± 0.72               |
| β 355/532                             | 0.00 ± 0.22                           | -0.11 ± 0.09                        | -0.20 ± 0.13                               | 0.72 ± 0.16               |
| β 532/1064                            | 0.12 ± 0.04                           | 0.32 ± 0.07                         | 0.29 ± 0.03                                | 0.71 ± 0.05               |

\* В табл.1 приведены S 355 и S 532 - лидарные отношения при 355 нм и 532 нм, соответственно; δ P355 и δ P532 -коэффициенты линейной деполяризации аэрозольных частиц при 355 нм и 532 нм, соответственно; τ Лидар - оптическая толщина аэрозоля, измеренная на длине волны 535 нм лидаром; τ SPM - измерение оптической толщины аэрозолей совместно расположенного солнечного фотометра при 500 нм (время измерений в сноске); α 355/532 - параметр Ангстрема, связанный с экстинкцией на основе коэффициентов экстинкции аэрозольных частиц при 355 нм и 532 нм; β 355/532 и β 532/1064 - параметры Ангстрема, связанные с обратным рассеянием при 355 нм, 532 нм и 1064 нм.

**Выводы:** Диапазон высоты для средних оптических свойств слоев пыли помещается в ядро каждого слоя. Предоставленные неопределенности представляют собой стандартные отклонения усредненных значений.

Время для измерения солнечным фотометром [UTC]: (1) 13.04.2015, время - 12:54:46; (2) 08.08.2015, время - 13:04:24; (3) 09.08.2015, время - 02:08:05; (4) 14.07.2016, время - 09:16:02; (5) 14.07.2016, время -09:16:02; (6) 13.05.2015, время - 13:21:50. Пылевые слои, например, 13 апреля 2015 года, **случай-1**, Рис. 2 и 20-24 апреля 2015 года, Рис. 1 (а). Летом АОТ в целом был выше значения 0.35 и некоторые пылевые события явно превышали ясность, например, 8 и 9 августа 2015 года, **случай - 2**, Рис. 3; 14 июля 2016 года, **случай - 3**, Рис. 4). Однако статистический анализ лидарных профилей всего периода измерения еще не до конца исследован.

Области источников пыли расположены в Центральной Азии. Усредненные лидарные профили были измерены 14 июля 2016 года и по времени от 16:00 до 22:00 UTC. Лидарные сигналы сглаживаются перед вычислением связанных с экстинкцией (743м) оптических свойств и обратного рассеяния (248 м), Рис. 1 (а) - (ф), то же, что и на рис. 2 (нижняя левая панель).

Левая панель: усредненные профили, измеренные лидаром 13 мая 2015 года по времени от 18:10 до 20:30 UTC. Лидарные сигналы сглаживаются перед вычислением связанных с экстинкцией (788м) оптических свойств и обратного рассеяния (98м). а) - (ф) то же, что и на рис. 2 (нижняя левая панель). Правая панель - обратные траектории HYSPLIT за 48 ч, прибывающие в город Душанбе по времени 18:00 UTC на высоте в 1 км, 2 км и 3км.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Althausen, D. Portable Raman Lidar PollyXT for Automated Profiling of Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization/ D. Althausen, R. Engelmann, H. Baars et al. // *J.Atmos. Oceanic Tech.* – Vol. 26. – Pp. 2366-2378. - doi:10.1175/2009JTECH1304.1. - 2009.
2. Baars, H. An overview of the first decade of PollyNET: an emerging network of automated Raman-polarization lidars for continuous aerosol profiling / H.Baars, T. Kanitz, R. Engelmann et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 16. – Pp. 5111-5137. - doi:10.5194/acp-16-5111. - 2016.
3. Baars, H. Aerosol profiling with lidar in the Amazon Basin during the wet and dry season 2008 / H. Baars // - Ph.D. thesis, - University of Leipzig. - 2011.
4. Kanitz, T. North-south cross sections of the vertical aerosol distribution over the Atlantic Ocean from multiwavelength Raman/polarization lidar during Polarstern cruises/ T. Kanitz, A. Ansmann, R.Engelmann, and D. Althausen // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol. 118. – Pp. 2643-2655. - doi:10.1002/jgrd.50273. - 2013.
5. Giannakaki, E. Optical and microphysical characterization of aerosol layers over South Africa by means of multi-wavelength depolarization and Raman lidar measurements / E.Giannakaki, van P.G., Zyl D. Müller, et al.// *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 16. – Pp. 8109-8123. - doi:10.5194/acp-16-8109-2016. - 2016.
6. Siegfried, T. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia? / T.Siegfried, T. Bernauer, R.Guiennet et al. // *Clim. Change.* – Vol. 112. – Pp. 881-899. - doi:10.1007/s10584-011-0253-z. - 2012.
7. Sorg, A. Coping with changing water resources: The case of the Syr Darya river basin in Central Asia / A. Sorg // *Environ. Sci. Policy.* – Vol. 43. - Pp. 68-77, doi:https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.003. - 2014.
8. Gabbi, J. The impact of Saharan dust and black carbon on albedo and long-term mass balance of an Alpine glacier / J.Gabbi, M. Huss, Bauder, et al. // *Cryosphere.* – Vol. 9. – Pp. 1385-1400, doi:10.5194/tc-9-1385-2015. - 2015.
9. Schmale, J. Modulation of snow reflectance and snowmelt from Central Asian glaciers by anthropogenic black carbon / J. Schmale, M. Flanner, S. Kang, et al. // *Sci. Rep.* – Vol. 7. - doi:10.1038/srep40501. - 2017.
10. Wolke, R. Influence of grid resolution and meteorological forcing on simulated European air quality: A sensitivity study with the modeling system COSMO–MUSCAT/ R. Wolke, W. Schröder, R. Schrödner and E. Renner // *Atmos. Environ.* – Vol. 53. - Pp. 110-130, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.02.085. - 2012.
11. Heinold, B. Regional modelling of Saharan dust and biomass-burning smoke Part 2: Direct radiative forcing and atmospheric dynamic response / B. Heinold, I. Tegen, S. Bauer, and M. Wendisch // *Tellus B.* – Vol. 63. - doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00574.x. - 2011.
12. Zhang, K. The global aerosol-climate model ECHAM-HAM, version 2: sensitivity to improvements in process representations / K. Zhang, D. O’Donnell, J. Kazil, et al. // *Atmos. Chem. and Phys.* – Vol. 12. - Pp. 8911-8949. - doi:10.5194/acp-12-8911-2012. - 2012.
13. Heinold, B. New developments in the representation of Saharan dust sources in the aerosol climate model ECHAM6-HAM2 / B. Heinold, I. Tegen, K. Schepanski, and J.R. Banks // *Geosci. Model Dev.* – Vol. 9. – Pp. 765-777 - doi:10.5194/gmd-9-765-2016. - 2016.
14. Fomba, K.W. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011/ K.W. Fomba, K. Müller, D. van Pinxteren et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 14. - Pp. 8883-8904. - doi:10.5194/acp-14-8883-2014. - 2014.
15. Schettler, G. Seasonal and diurnal variations in dust characteristics on the northern slopes of the Tien Shan - Grain-size, mineralogy, chemical signatures and isotope composition of attached nitrate / G.Schettler, A. Shabunin, H. Kemnitz et al // *J. Asian Earth Sci.* – Vol. 88. – Pp. 257-276, doi:10.1016/j.jseaes.2014.03.019. -2014.
16. Ott, D.K. and Peters T. A Shelter to Protect a Passive Sampler for Coarse Particulate Matter, PM10-2.5 / D.K.Ott, and T. Peters // *Aerosol Sci. Technol.* – Vol. 42. - Pp. 299-309. -doi:10.1080/02786820802054236. - 2008.

17. Kandler, K. Size distribution, mass concentration, chemical and mineralogical composition and derived optical parameters of the boundary layer aerosol at Tinfou, Morocco, during SAMUM 2006. / K. Kandler, L. Schütz, C. Deutscher et al. // *Tellus B.* – Vol. 61. – Pp. 32-50. -doi:10.1111/j.1600-0889.2008.00385.x. - 2009.
18. Kandler, K. Electron microscopy of particles collected at Praia, Cape Verde, during the Saharan Mineral Dust Experiment: particle chemistry, shape, mixing state and complex refractive index / K. Kandler, K. Lieke, N. Benker, et al. // *Tellus B.* – Vol. 63. – Pp. 475-496. - doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00550.x. - 2011.
19. Althausen, D Portable Raman Lidar PollyXT for Automated Profiling of Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization / D. Althausen, R. Engelmann, H. Baars, et al. // *J. Atmos. Oceanic Tech.*, – Vol. 26. - Pp. 2366-2378. -doi:10.1175/2009JTECHA1304.1. -2009.
20. Baars, H. Aerosol profiling with lidar in the Amazon Basin during the wet and dry season / H. Baars, A. Ansmann, D. Althausen, et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol. 117. - doi:10.1029/2012JD018338. - 2012.
21. Engelmann, R. The automated multiwavelength Raman polarization and water-vapor lidar PollyXT: the neXT generation / R. Engelmann, T. Kanitz, H. Baars, et al. // *Atmos. Meas. Tech.* – Vol. 9. – Pp. 1767-1784. - doi:10.5194/amt-9-1767-2016. - 2016.
22. Назаров, Б.И. Дистанционное зондирование атмосферы в рамках проекта CADEX / Б.И. Назаров, Д. Альхаузен, Дж. Хофер, С.Ф. Абдуллаев // *Доклады АНРТ.* – Т. 59. - № 11-12. - С. 489-497. - 2016.
23. Mamouri, R.E. Low Arabian dust extinction-to-backscatter ratio / R.E. Mamouri, A. Ansmann, A. Nisantzi, et al. // *Geophys. Res. Lett.* – Vol. 40. - Pp. 4762-4766. - doi:10.1002/grl.50898. - 2013.
24. Mamouri, R.E. Extreme dust storm over the eastern Mediterranean in September 2015: satellite, lidar, and surface observations in the Cyprus region / R.E. Mamouri, A. Ansmann, A. Nisantzi, et al. // *Atmos. Chem. Phys.* - V. 16. – Pp. 13711-13724. - doi:10.5194/acp-16-13711-2016. - 2016.
25. Nisantzi, A. Middle East versus Saharan dust extinction-to-backscatter ratios / A. Nisantzi, R. E. Mamouri, A., Ansmann, G.L. Schuster, and D.G. Hadjimitsis // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 15. – Pp. 5203-5240. - doi:10.5194/acpd-15-5203-2015. - 2015.

#### REFERENCES

1. Althausen, D. Portable Raman Lidar PollyXT for Automated Profiling of Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization/ D. Althausen, R. Engelmann, H. Baars et al. // *J. Atmos. Oceanic Tech.* – Vol. 26. – Pp. 2366-2378. - doi:10.1175/2009JTECHA1304.1. - 2009.
2. Baars, H. An overview of the first decade of PollyNET: an emerging network of automated Raman-polarization lidars for continuous aerosol profiling / H. Baars, T. Kanitz, R. Engelmann et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 16 - Pp. 5111-5137. - doi:10.5194/acp-16-5111. - 2016.
3. Baars, H. Aerosol profiling with lidar in the Amazon Basin during the wet and dry season 2008. / H. Baars // - Ph.D. thesis, - University of Leipzig. - 2011.
4. Kanitz, T. North-south cross sections of the vertical aerosol distribution over the Atlantic Ocean from multiwavelength Raman/polarization lidar during Polarstern cruises/ T. Kanitz, A. Ansmann, R. Engelmann, and D. Althausen // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol. 118. - Pp. 2643-2655. - doi:10.1002/jgrd.50273. - 2013.
5. Giannakaki, E. Optical and microphysical characterization of aerosol layers over South Africa by means of multi-wavelength depolarization and Raman lidar measurements / E. Giannakaki, van P.G., Zyl D. Müller, et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 16. - Pp. 8109-8123. - doi:10.5194/acp-16-8109-2016. - 2016.
6. Siegfried, T. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia? / T. Siegfried, T. Bernauer, R. Guiennet et al. // *Clim. Change.* – Vol. 112. - Pp. 881-899. - doi:10.1007/s10584-011-0253-z. - 2012.
7. Sorg, A. Coping with changing water resources: The case of the Syr Darya river basin in Central Asia / A. Sorg // *Environ. Sci. Policy.* – Vol. 43. - Pp. 68-77, doi:https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.003. - 2014.
8. Gabbi, J. The impact of Saharan dust and black carbon on albedo and long-term mass balance of an Alpine glacier / J. Gabbi, M. Huss, Bauder, et al. // *Cryosphere.* – Vol. 9. - Pp. 1385-1400, doi:10.5194/tc-9-1385-2015. - 2015.
9. Schmale, J. Modulation of snow reflectance and snowmelt from Central Asian glaciers by anthropogenic black carbon / J. Schmale, M. Flanner, S. Kang, et al. // *Sci. Rep.* – Vol. 7. - doi:10.1038/srep40501. - 2017.
10. Wolke, R. Influence of grid resolution and meteorological forcing on simulated European air quality: A sensitivity study with the modeling system COSMO–MUSCAT/ R. Wolke, W. Schröder, R. Schrödner and E. Renner // *Atmos. Environ.* – Vol. 53. - Pp. 110-130, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.02.085. - 2012.
11. Heinold, B. Regional modelling of Saharan dust and biomass-burning smoke Part 2: Direct radiative forcing and atmospheric dynamic response / B. Heinold, I. Tegen, S. Bauer, and M. Wendisch // *Tellus B.* – Vol. 63. - doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00574.x. - 2011.
12. Zhang, K. The global aerosol-climate model ECHAM-HAM, version 2: sensitivity to improvements in process representations / K. Zhang, D. O'Donnell, J. Kazil, et al. // *Atmos. Chem. and Phys.* – Vol. 12. - Pp. 8911-8949. - doi:10.5194/acp-12-8911-2012. - 2012.

13. Heinold, B. New developments in the representation of Saharan dust sources in the aerosol climate model ECHAM6-HAM2 / B. Heinold, I. Tegen, K. Schepanski, and J.R. Banks // *Geosci. Model Dev.* – Vol. 9. - Pp. 765-777 - doi:10.5194/gmd-9-765-2016. - 2016.
14. Fomba, K.W. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011/ K.W. Fomba, K. Müller, D. van Pinxteren et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 14. - Pp. 8883-8904. - doi:10.5194/acp-14-8883-2014. - 2014.
15. Schettler, G. Seasonal and diurnal variations in dust characteristics on the northern slopes of the Tien Shan - Grain-size, mineralogy, chemical signatures and isotope composition of attached nitrate / G.Schettler, A. Shabunin, H. Kemnitz, et al. // *J. Asian Earth Sci.* – Vol. 88. - Pp. 257-276, doi:10.1016/j.jseaes.2014.03.019. -2014.
16. Ott, D.K. and Peters T. A Shelter to Protect a Passive Sampler for Coarse Particulate Matter, PM10-2.5 / D.K.Ott, and T. Peters // *Aerosol Sci. Technol.* – Vol. 42. - Pp. 299-309. -doi:10.1080/02786820802054236. - 2008.
17. Kandler, K. Size distribution, mass concentration, chemical and mineralogical composition and derived optical parameters of the boundary layer aerosol at Tinfou, Morocco, during SAMUM 2006. / K. Kandler, L. Schütz, C Deutscher., et al. // *Tellus B.* – Vol. 61. - Pp. 32-50. -doi:10.1111/j.1600-0889.2008.00385.x. - 2009.
18. Kandler, K. Electron microscopy of particles collected at Praia, Cape Verde, during the Saharan Mineral Dust Experiment: particle chemistry, shape, mixing state and complex refractive index / K. Kandler, K. Lieke, N. Benker, et al. // *Tellus B.* – Vol. 63. - Pp. 475-496. - doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00550.x. - 2011.
19. Althausen, D Portable Raman Lidar PollyXT for Automated Profiling of Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization / D. Althausen, R. Engelmann, H. Baars, et al. // *J. Atmos. Oceanic Tech.*, – Vol. 26. - Pp. 2366-2378. -doi:10.1175/2009JTECHA1304.1. -2009.
20. Baars, H. Aerosol profiling with lidar in the Amazon Basin during the wet and dry season / H. Baars, A. Ansmann, D. Althausen, et al. // *J. Geophys. Res. Atmos.* – Vol. 117. - doi:10.1029/2012JD018338. - 2012.
21. Engelmann, R. The automated multiwavelength Raman polarization and water-vapor lidar PollyXT: the neXT generation / R. Engelmann, T. Kanitz, H. Baars, et al. // *Atmos. Meas. Tech.* – Vol. 9. – Pp. 1767-1784. - doi:10.5194/amt-9-1767-2016. - 2016.
22. Nazarov, B.I. Remote sensing of the atmosphere within the framework of the CADEX project / B.I. Nazarov, D. Althausen, J. Hofer, S.F. Abdullaev // *Reports of the AS RT.* – 2016. – Vol. 59. – No. 11-12. – Pp. 489-497.
23. Mamouri, R.E. Low Arabian dust extinction-to-backscatter ratio / R.E. Mamouri, A. Ansmann, A. Nisantzi, et al. // *Geophys. Res. Lett.* – Vol. 40. - Pp. 4762-4766. - doi:10.1002/grl.50898. - 2013.
24. Mamouri, R.E. Extreme dust storm over the eastern Mediterranean in September 2015: satellite, lidar, and surface observations in the Cyprus region / R.E. Mamouri, A. Ansmann, A. Nisantzi, et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 16. – Pp. 13711-13724. - doi:10.5194/acp-16-13711-2016. - 2016.
25. Nisantzi, A. Middle East versus Saharan dust extinction-to-backscatter ratios / A. Nisantzi, R. E. Mamouri, A., Ansmann, G.L. Schuster, and D.G. Hadjimitsis // *Atmos. Chem. Phys.* – Vol. 15. – Pp. 5203-5240. - doi:10.5194/acpd-15-5203-2015. - 2015.

## **БАЪZE НАТИЧАҲОИ ОМУЪЗИШИ**

### **АТМОСФЕРА БО ИСТИФОДАИ ЛИДАР ДАР Ш.ДУШАНБЕ**

Дар Душанбе аз моҳи марти соли 2015 пас аз озмоиши ҷангу ғубори Осиёи Марказӣ (ЦАПЭКС) бо истифода аз лидари поляризатории бисёрмаҷии POLLY-XT таҳқиқи лазерии пайваस्ताи атмосфера гузаронида шуда истодааст. Дар ин мақола натиҷаҳои ҷенкунии коэффисиентҳои марбут ба ҷор эпизоди воридшавии ҷанг пешниҳод шудааст. Дар мақола таҳаввулотҳои вақтии сигнал бо ислоҳи диапазони канал дар 1064 нм аз 20 апрел то 24 апрели соли 2015 нишон дода шудааст. Дар ин ҷаҳор рӯз дар саросари Тоҷикистон қабатҳои сершумори ҷангу ғубор сабт шудааст. Аз 20 апрели соли 2015 қабатҳои аэрозоли то сатҳи 4 км ба қайд гирифта шудаанд. Ҳамзамон, қабатҳои ҷангу ғубори пастшуда дар баландии тақрибан 10 километр аз истоҳи лидар гузаштанд ва 22 апрели соли 2015 қабати дуҷуми ҷангу ғубор ба баландии 10 километр расид, ки боз поён фаромад. Тибқи маълумоти масири баръакси FLEXPART, манбаҳои ҷанг нимҷазираи Араб, Эрон ва қисмати аз Узбекистону Туркманистон буданд. Дар мавриди 13 майи соли 2015 қабати баландии аэрозоли ҷен карда шуд, ки баландии тақрибан аз 6,5 то 10 километрро ташкил дод. Дар ин мақола ба таври муфассал ҷор ҳолати аз ҳам фарқкунандаи зерин баррасӣ шудаанд: ҷангу ғубори қабати болоии аз Ховари Миёна, ки 13 апрели соли 2015 рух дод; ҳодисаи ҷангу ғубори шадид бо ғубори Осиёи Марказӣ (ОМ), ки 8 ва 9 августи соли 2015 ба қайд гирифта шудааст; 14 июли соли 2016 ҳодисаи шадидтарини ғуборолуд; ҳангоми таҷрибаи

ЦАПЭКС бо манбаъҳои ҷанг аз ОМ; як ҳолати муқобил бо сатҳи ифлосшавии маҳаллӣ, ки 13 майи соли 2015 ҷанг карда шудааст.

**Қалидвожаҳо:** таҷрибаи ҷанги Осиёи Марказӣ, зонди лазерии атмосфера, интрузияи ҷанг, таҷрибаи ҷанг, усули масири баръакс, минтақаи нимхушк, коэффисиенти парқандашавии ба ақиб, коэффисиенти экстинсия, таносуби лидари, консентратсияи массавии ҷанг.

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ЛИДАРА В Г. ДУШАНБЕ

В г. Душанбе проводится постоянный лазерный зондирования атмосферы начиная с Центрально-азиатского пылевого эксперимента (ЦАПЭКС) с марта 2015 года с помощью многоволнового поляризационного лидара POLLY - XT. В настоящей работе представлены результаты измерения относящейся к четырём эпизодам пылевого вторжения. В работе показано временное развитие сигнала с коррекцией диапазона канала при 1064 нм с 20 по 24 апреля 2015 года. Во время этих четырех дней были зарегистрированы над Таджикистаном многократные пылевые слои. С 20 апреля 2015 года были зарегистрированы аэрозольные слои до уровня 4 км. В то же время нисходящие пылевые слои пересекали лидарную станцию на высотах около 10 км, а 22 апреля 2015 года второй слой пыли достиг высоты 10 км, который снова опустился. Согласно данным обратной траектории FLEXPART Аравийский полуостров, Иран, а также частично Узбекистан и Туркменистан, были источниками образования пыли. В случае 13 мая 2015 года был измерен высотный аэрозольный слой, достигающий высоты примерно от 6,5 до 10 км. В настоящей статье более подробно обсуждены следующие четыре высококонтрастных случая: пыль верхнего слоя пылевого события из Ближнего Востока, которое произошло 13 апреля 2015 г.; чрезвычайное пылевое событие с пылью из Центральной Азии (ЦА), которое было зарегистрировано 8 и 9 августа 2015 г.; самое экстремальное пылевое событие, которое наблюдалось 14 июля 2016 года; во время эксперимента ЦАПЭКС с пылью источниками из ЦА; контрастный случай с уровнем загрязнения местного происхождения, который был измерен 13 мая 2015 года.

**Ключевые слова:** Центрально-азиатский пылевой эксперимент, лазерное зондирование атмосферы, пылевое вторжение, пылевой эксперимент, метод обратной траекторий, полуаридная зона, коэффициент обратного рассеяния, коэффициент экстинкции, лидарное отношение, массовая концентрация пыли.

### SOME RESULTS OF LASER SOUNDING OF THE ATMOSPHERE USING LIDAR IN DUSHANBE

In Dushanbe, continuous laser sounding of the atmosphere has been carried out since March 2015 since the Central Asian dust experiment (CADEX) using the POLLY-XT multi-wavelength polarization lidar. In this paper, we present the results of measurements of the coefficients related to four episodes of dust intrusion. The paper shows the time evolution of the signal with channel range correction at 1064 nm from April 20 to April 24, 2015. During these four days, multiple dust layers were recorded over Tajikistan. Since April 20, 2015, aerosol layers up to the level of 4 km have been registered. At the same time, descending dust layers crossed the lidar station at altitudes of about 10 km, and on April 22, 2015, the second layer of dust reached a height of 10 km, which again descended. According to the FLEXPART return trajectory data, the Arabian Peninsula, Iran, and parts of Uzbekistan and Turkmenistan were sources of dust. In the case of May 13, 2015, an altitudinal aerosol layer was measured reaching a height of approximately 6.5 to 10 km. This article discusses in more detail the following four high-contrast cases: upper-layer dust from a dust event from the Middle East that occurred on April 13, 2015; an extreme dust event with dust from Central Asia (CA), which was registered on August 8 and 9, 2015; the most extreme dust event observed on July 14, 2016; during the experiment CADEX with dust sources from CA; a contrasting case with the level of pollution of local origin, which was measured on May 13, 2015.

**Keywords:** Central Asian dust experiment, atmospheric laser sounding, dust intrusion, dust experiment, back trajectory method, semi-arid zone, backscattering coefficient, extinction coefficient, lidar ratio, dust mass concentration.

*Маълумот дар бораи муаллифон:* Нозиров Диловар Фозилҷонович – докторанти Ph.D лабораторияи физикаи атмосфераи ИФТ ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/1. **Телефон:** (+992) 937-77-71-64. **E-mail:** dilovarnozirov@gmail.com.

**Джулиан Хофер** – н.и.ф.м., ходими калони илмии гурӯҳи Лидари Институти таҳқиқоти тропосферии Олмон ба номи Лейбнис. **Суроға:** 04318, Олмон, ш. Лейпсиг, Пермосер, 15. **E-mail:** hofer@tropos.de.

**Фарход Рахимӣ** – д.и.ф.м., академик, Президенти Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 33. **Телефон:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Абдуллаев Сабур Фузайлович** – д.и.ф.м., мудири лабораторияи физикаи атмосфераи ИФТ ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/1. **Телефон:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Бобоева Нилуфар Ҷамшедовна** – магистранти Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/1. **Телефон:** (+992) 931-80-80-63. **E-mail:** nilufarboboeva@gmail.com.

*Сведения об авторах:* **Нозиров Диловар Фозилджонович** – Ph.D докторант лаборатории физики атмосфери ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Аини, 299/1. **Телефон:** (+992) 937-77-71-64. **E-mail:** dilovarnozirov@gmail.com.

**Джулиан Хофер** – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник группы Лидар Института тропосферных исследований им. Лейбница. **Адрес:** Германия, г. Лейпциг Пермосер, 15 индекс-04318. **E-mail:** hofer@tropos.de.

**Фарход Рахими** – д.ф.-м.н., академик, Президент Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33. **Телефон:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Абдуллаев Сабур Фузайлович** – д.ф.-м.н., зав. лабораторией физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова, Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Аини, 299/1. **Телефон:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Бобоева Нилуфар Ҷамшедовна** – магистрант лаборатории физики атмосфери ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33. **Телефон:** (+992) 931-80-80-63. **E-mail:** nilufarboboeva@gmail.com.

*Information about the authors:* **Nozirov Dilovar Foziljonovich** – Ph.D student of the Laboratory of Atmospheric Physics of Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov of National academy of Science of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Avenue, 299/1. **Phone:** (+992) 937-77-71-64. **E-mail:** dilovarnozirov@gmail.com.

**Julian Hofer** – Ph.D., Leipzig, Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS). **Address:** 04318, Leipzig, Germany, Permoser Street, 15. **E-mail:** hofer@tropos.de.

**Farhod Rakhimi** – prof., Academician, President of National Academy of Science of Tajikistan, **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 33. **Phone:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Abdullaev Sabur Fuzaylovich** – Doctor, prof., Head of the Laboratory of Atmospheric Physics of Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov of National academy of Science of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Street, 299/1. **Phone:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Boboeva Nilufar Jamshedovna** – a master's student of the Laboratory of Atmospheric Physics of Physical and Technical Institute named after S.U. Umarov of National academy of Science of Tajikistan. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Street, 299/1. **Phone:** (+992) 931-80-80-63. **E-mail:** nilufarboboeva@gmail.com.

**Рецензент:** Норматов И.Ш. – доктор химических наук, профессор Таджикского национального университета

## **ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИИ РЕКИ ГУНТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЗОННЫХ ОСАДКОВ**

*<sup>1</sup>Абдурахимов Б.Х., <sup>2</sup>Одинаев К.Н., <sup>2</sup>Муминов А.О.*

**<sup>1</sup>Комитет охраны окружающей среды при Правительстве  
Республики Таджикистан**

**<sup>2</sup>Таджикский национальный университет**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Увеличение частоты ежегодного возникновения чрезвычайных природных явлений, обострения проблемы нехватки воды, изменения нормального функционирования компонентов экосистемы деградация оледенения на высокогорьях и количественное изменение водных ресурсов являются основными последствиями глобального изменения климата [1-3]. Наиболее ощутимые изменения испытывают водные артерии в аридных и полуаридных географических широтах благодаря отражению последствий изменения климата на высокогорьях в их гидрологию [4].

По имеющимся прогнозам, уровень суммарных выбросов парниковых газов в 2030 г. может достичь 55 Гт, тогда как, по мнению экспертов ООН, эта максимальная отметка должна быть не более 40 Гт. Согласно последним научно обоснованным данным необходимо, чтобы к 2050 году уровень выбросов был нулевым, чтобы избежать катастрофических последствий [5,6].

Нейтрализация негативных последствий изменения климата может быть достигнута за счет сокращения использования ископаемого топлива и инвестирования зеленой энергетики. Гидроэнергетика ныне считается главным претендентом в переходе к чистой энергии не только из-за огромного количества электроэнергии с низким уровнем выбросов углерода, но и из-за ее непревзойденной способности обеспечивать гибкость и хранение энергии.

Благоприятные условия высокогорного Памира для аккумуляции влаги превращает его как источника водообеспечения водных артерий как факторов для полива сельскохозяйственных земель, производства чистой электроэнергии и обеспечения жителей в низовьях питьевой водой. Это осуществляется главной рекой региона Амударьей истоком которого является Памир [7].

В качестве источника водоснабжения более 60 населенных пунктов, сосредоточенных на всем протяжении реки Гунт, в том числе административного города Хорог и выработки электроэнергии на двух ГЭС, река Гунт – приток реки Пяндж занимает важное место в пополнении водного баланса бассейна реки Амударья [8].

Наблюдаемые в настоящее время значительные изменения метеорологических условий, гидрологии, смещение периодов максимальных осадков на более холодные сезоны года и цикличность и повторяемость смены половодья и маловодья в бассейнах высокогорных рек обусловлены в первую очередь изменением климата.

Для планирования оптимального режима работы гидротехнических сооружений и развития гидроэнергетического потенциала бассейнов рек актуальны долгосрочные прогнозы мониторинга водных ресурсов бассейнов, определяемые по результатам систематических и систематических наблюдений за метеорологическими параметрами.



Нарастание демографических факторов и проблемы продовольственной безопасности в условиях нарастания дефицита воды обостряются и приводят к существенному увеличению отношения водопользователей к количеству формируемых природных вод [7,9].

Вход и распределение воздушных масс на террасах высокогорий имеют отличительные особенности, обусловленные влиянием орографии горного рельефа. Высокие горные вершины в большинстве случаев становятся препятствием в обеспечении труднодоступных районов осадками. Наблюдается определенная последовательность периодов с большими значениями осадков в климатические зоны Памира [10].

В регионах мира, в особенности в аридных территориях, когда метеорологические условия региона образования водных ресурсов отличается от региона водопользования, характерной для региона Аральского бассейна, идентификация маршрута влажной воздушной массы и ее внедрения на территорию с развитой горной орографией представляет особое значение с точки зрения определения вклада атмосферных осадков в формировании стока горных рек [11].

Целью исследования является выявление пространственного распределения атмосферных осадков в бассейне реки Гунт-притока трансграничной реки Пяндж и определение их вклада и талых ледниковых вод в формирование речного стока.

Согласно [11] отличительная особенность бассейна реки Гунт является наличие существенного отличия климатических условий восточной и западной части

Следует отметить, что в климатических зонах Памира явной закономерности зависимости количества осадков от высоты не наблюдается [12].

## **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Основные гидрологические характеристики реки Гунт подробно изложено в [13].

Установлено [14-18], что в зависимости от сезона года на территорию Горно-Бадахшанской Автономной области Республики Таджикистан проникают влажные воздушные массы из Средиземноморья и Индийского океана. В водный сток рек с истоком на Памир преобладают доли таяния снегов и ледников.

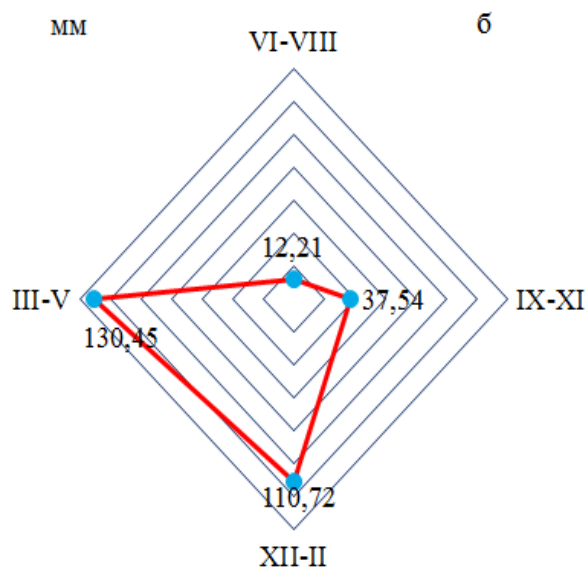
Для оценки гидрометеорологических характеристик бассейна реки Гунт в условиях изменения климата за период 1940-2020 годы использовались архивные данные гидрометеостанции бассейна в г. Хороге. Тенденцию изменения изучаемых параметров с 1940 по 2020 гг.

Для обработки данных широко вовлекались статистические и широко применяемые корреляционные методы (корреляции Пирсона, Спирмена и Стьюдента).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

На рис.1 приведено значений атмосферных осадков по сезонам года.

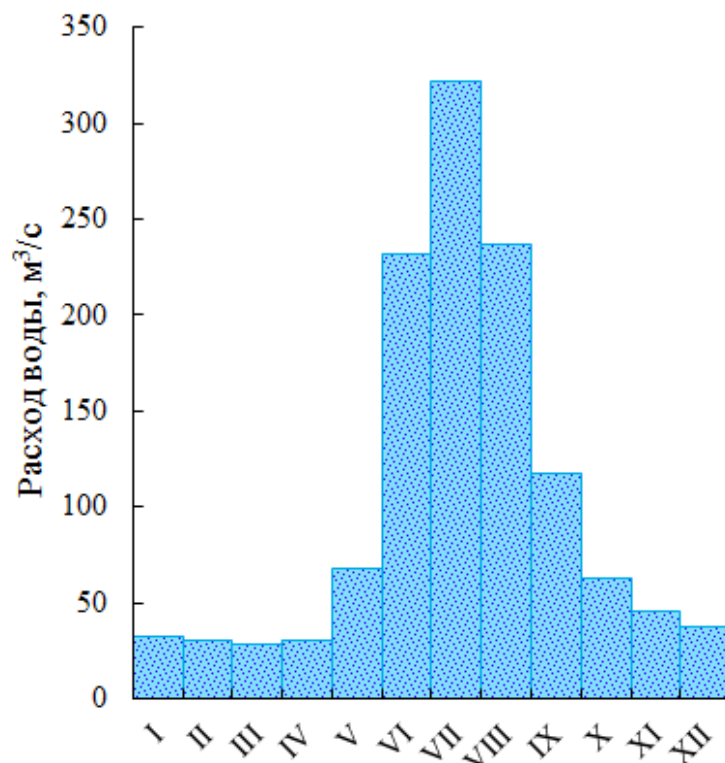
**Рисунок 1. Атмосферные осадки по сезонам года в бассейне реки Гунт**  
**Figure 1. Atmospheric precipitation by seasons in the Gunt River basin**



Преобладание атмосферных в периоды XII-II и III-V именно связано с проникновением влажных западных воздушных масс из Средиземноморья.

Естественно можно ожидать, что накопленный в зимний и весенний период атмосферные осадки в самый жаркий период вносят вклад в половодье рек, как видно из рис.2.

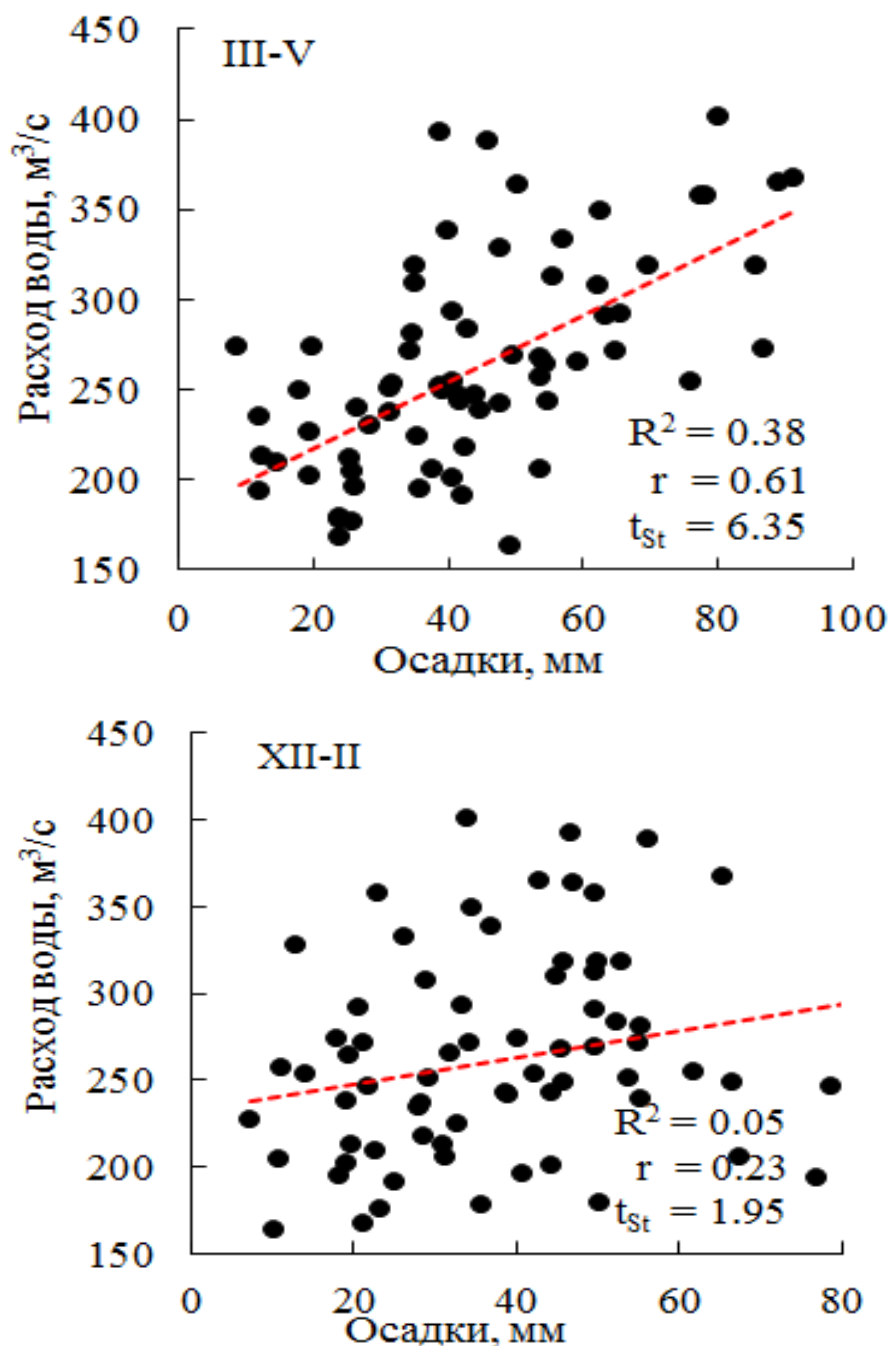
**Рисунок 2. Внутригодовое распределение стока реки Гунт**  
**Figure 2. Intra-annual distribution of the Gunt River Runoff**



Взаимосвязь атмосферных осадков и стока реки Гунт можно определить с применением корреляционных зависимостей (рис.3).

Рисунок 3. Корреляция весенних и зимних атмосферных осадков с расходом воды

Figure 3. Correlation of spring and winter precipitation with water discharge

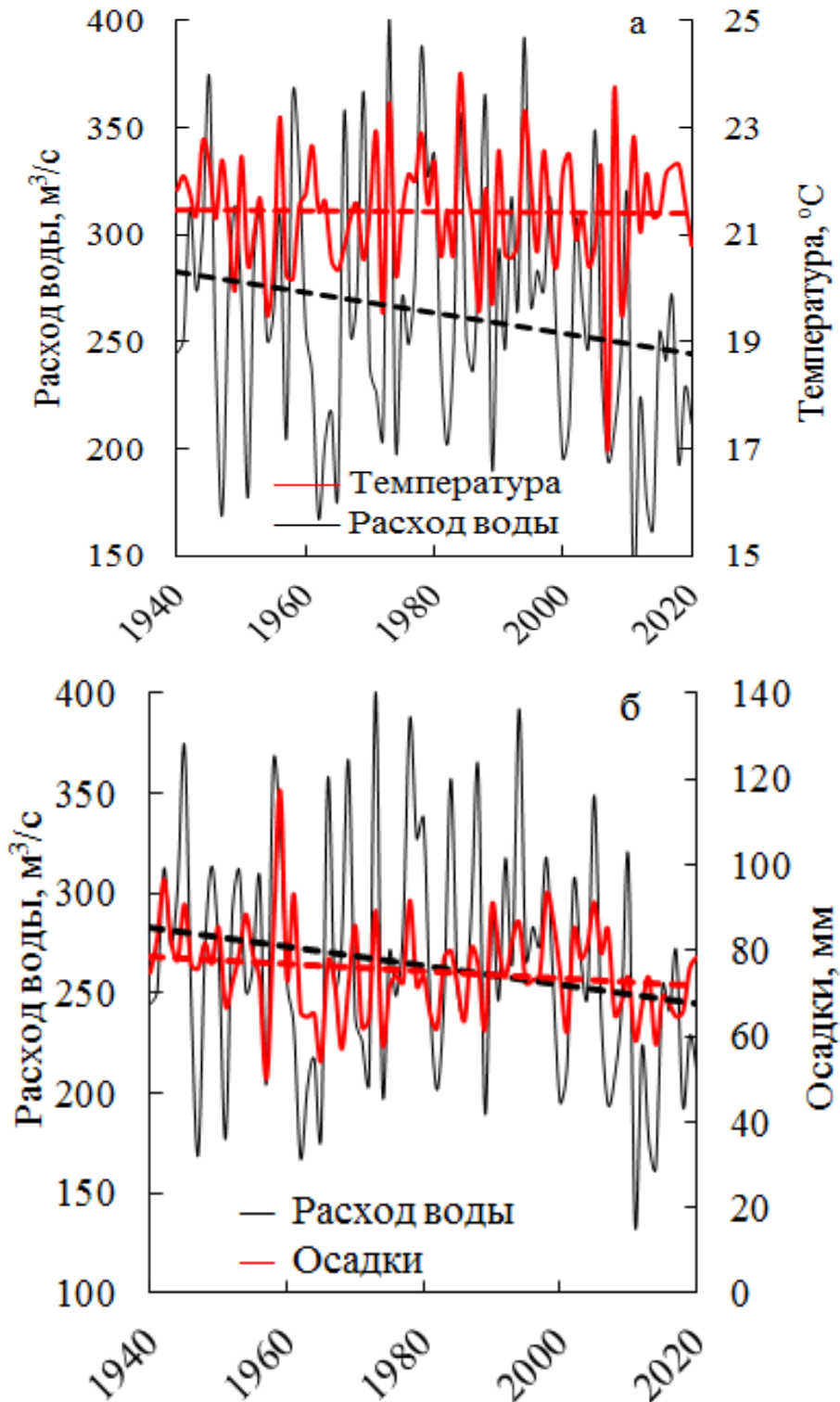


Из анализа корреляционных зависимостей атмосферных осадков и расхода воды реки Гунт следует, что в образовании стока весенние осадки преобладают над зимними. Причиной всего этого кроется во взаимодействии солнечной радиации с поверхностными слоями снежного покрова. Было установлено (рис.4), что за

рассматриваемый период (1940-2020 гг.) тренд среднегодовой температуры не претерпел заметных изменений.

**Рисунок 4. Изменение температуры бассейна и расхода воды реки Гунт с 1940 по 2020 годы**

**Figure 4. Basin temperature and water discharge changes of the Gunt River from 1940 to 2020**

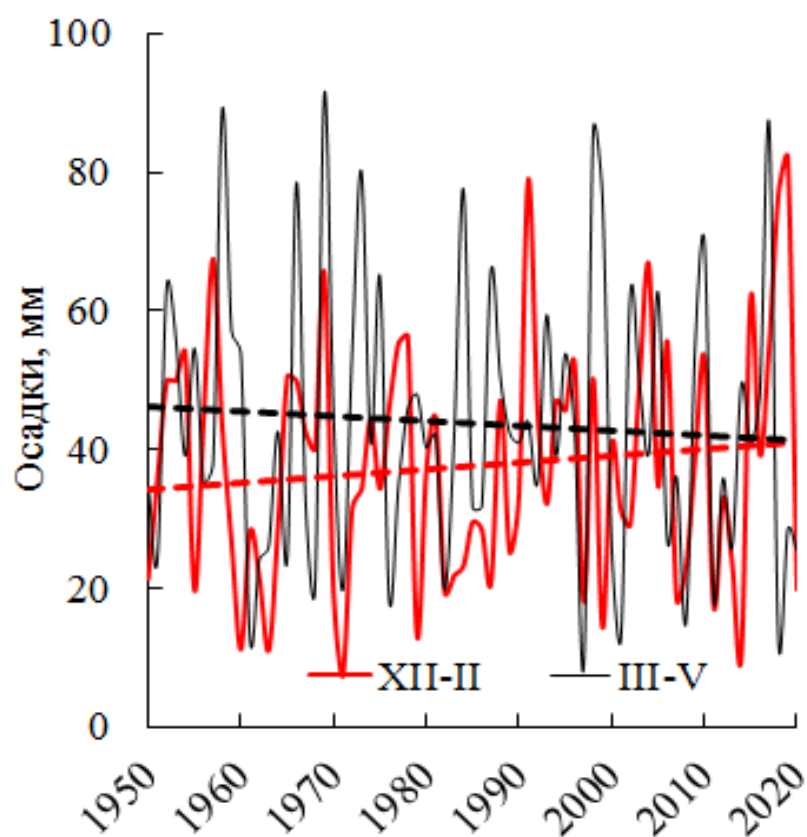


Согласно нашему предположению, уменьшение среднегодовых значений расхода воды реки Гунт наблюдаемого на рис.4 (а, б) связано с процессами влияния изменения климата на ледниковый резерв бассейна и активизации вклада снежного покрова в формировании стока реки.

Было установлено, что за рассматриваемый период разница между значениями весенних и зимних осадков уменьшается, что может свидетельствовать о смещении периода максимальных осадков бассейна в более холодное время года (рис.5). Это в какой-то степени свидетельствует о влиянии изменения климата на метеорологию бассейна реки Гунт.

**Рисунок 5. Динамика среднегодовых количеств атмосферных осадков в бассейне реки Гунт зимой и летом**

**Figure 5. Dynamics of average annual precipitation in the Gunt River basin in winter and summer**



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторингом гидрометеорологических характеристик бассейна установлено следы влияния изменения климата на снежно-ледовые ресурсы бассейна. Выявлений признаков взаимосвязи стока реки от сезонных значений осадков осуществлен с широким применением корреляций Пирсона, Стьюдента и Спирмена. Предположено, что почти постоянный тренд температуры бассейна за рассматриваемый период и нисходящий тренд стока реки свидетельствует о существенной деградации оледенения бассейна. Постепенное уменьшение разницы весенних и зимних осадков и смещения периода максимальных осадков в более холодный период года можно считать косвенным подтверждением влияния изменения климата на климатические условия бассейна реки Гунт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Arnell, N.W. The Impacts of Climate Change on River Flood Risk at the Global Scale. *Climatic Change* / N.W. Arnell, S.N. Gosling // *Climatic Change*. – 2016. – Vol. 134(3). – Pp. 387-401. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>.
2. Saiko, T. A. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia / T.A. Saiko, I.S. Zonn // *Applied Geography*. – 2000. – Vol. 20(4). – Pp. 349-367. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(00\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(00)00014-X).
3. Siegfried, T. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia? / T. Siegfried, T. Bernauer, R. Guiennet, S. Sellars, A.W. Robertson, J. Mankin // *Climatic Change*. – 2012. – Vol. 112(3-4). – Pp. 881-899. <https://doi.org/10.1007/s10584-0110253-z>.
4. Petrov, G. N. Conflict of interests between water users in the Central Asian region and possible ways to its elimination / G.N. Petrov, I. Sh. Normatov // *Water Resources*. – 2010. – Vol. 37(1). – Pp. 113-120. <https://doi.org/10.1134/S0097807810010112>.
5. UN. Climate action: Renewable energy – powering a safer future. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.un.org> (Дата посещения: 10.02.2023).
6. UN75. Shaping our future together. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.un.org> (Дата посещения: 16.11.2022).
7. Норматов, И.Ш. Исследование пространственного распределения атмосферных осадков Центрального и Западного Памира с применением стабильных изотопов поверхностных вод / И.Ш. Норматов, А. Хомидов, П.И. Норматов, А.О. Муминов // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. – 2022. – № 3 (385). – С. 98-112. doi: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-3-98-112>.
8. Jarihani, B. Simulation of river flow in the Gunt River Basin in Tajikistan / B. Jarihani, A. Zemlyanskova, O. Makarieva // *Abstract EGU General Assembly 2022, 23-27 May 2022*. Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8568>.
9. Hock R., Rasul G., Adler C., Cáceres B., Gruber S., Hirabayashi Y., Jackson M., Kääb A., Kang S., Kutuzov S., Milner A., Molau U., Morin S., Orlove B., Steltzer H. High Mountain Areas / IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Eds: H. O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okfem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer. – 2019. – Pp. 131-202.
10. Норматов, И.Ш. Сезонные и высотные колебания стабильных изотопов рек Западного и Центрального Памира / И.Ш. Норматов, Г.Т. Фрумин, А. Хомидов // *Гидрометеорология и экология*. – 2022. – № 67. – С. 230-242. doi: [10.33933/2713-3001-2022-67-230-242](https://doi.org/10.33933/2713-3001-2022-67-230-242).
11. Normatov, I. Climate change impact on hydrological characteristics and water availability of the Mountain Pamir Rivers / I. Normatov, P. Normatov // *Proc. IAHS*. – 2020. – Vol. 383. – Pp 31-41. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-31-2020>.
12. Normatov, P. I. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj / P.I. Normatov, B.A. Markaev, I. Sh. Normatov // *Bull. Irkutsk St. Univ.* – 2017. – Vol.21. – Pp.106-113.
13. База знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря: Реки, Речные системы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net). Дата посещения: 04.12.2022.
14. Pohl, E. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains / E. Pohl, M. Knoche, M.R. Gloaguen, C. Andermann, P. Krause // *Earth Surf. Dynam.* – 2015. – Vol. 3. – Pp. 333–362.
15. Fuchs, M.C. Tectonic and climatic forcing on the Pyanj river system during the Quaternary / M.C. Fuchs, R. Gloaguen, E. Pohl // *Int. J. Earth Sci.* – 2013. – Vol. 102. – Pp. 1985-2003.
16. Aizen, V.B. Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko glacier (Pamirs) snow/firn cores / V.B. Aizen, P.A. Mayewski, E.M. Aizen, D.R. Joswiak, A.B. Surazakov, S. Kaspari, B. Grigholm, M. Krachler, M. Handley, A. Finaev // *J. Glaciol.* – 2009. – Vol. 55. – Pp. 275-291.
17. Syed, F.S. Effect of remote forcings on the winter precipitation of central southwest Asia part 1: observations / F.S. Syed, F. Giorgi, J.S. Pal, M.P. King // *Theor. Appl. Climatol.* – 2006. – Vol. 86. – Pp. 147-160.
18. Palazzi, E. Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: observations and future scenarios / E. Palazzi, J.V. Hardenberg, A. Provenzale // *J. Geophys. Res. Atmos.* – 2013. – Vol. 118. – Pp. 85-100.

## REFERENCES

1. Arnell, N.W. The Impacts of Climate Change on River Flood Risk at the Global Scale. *Climatic Change* / N.W. Arnell, S.N. Gosling // *Climatic Change*. – 2016. – Vol. 134(3). – Pp. 387-401. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>.
2. Saiko, T. A. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia / T.A. Saiko, I.S. Zonn // *Applied Geography*. – 2000. – Vol. 20(4). – Pp. 349-367. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(00\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(00)00014-X).

3. Siegfried, T. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia? / T. Siegfried, T. Bernauer, R. Guiennet, S. Sellars, A.W. Robertson, J. Mankin // *Climatic Change*. – 2012. – Vol. 112(3-4). – Pp. 881-899. <https://doi.org/10.1007/s10584-0110253-z>.
4. Petrov, G. N. Conflict of interests between water users in the Central Asian region and possible ways to its elimination / G.N. Petrov, I. Sh. Normatov // *Water Resources*. – 2010. – Vol. 37(1). – Pp. 113-120. <https://doi.org/10.1134/S0097807810010112>.
5. UN. Climate action: Renewable energy – powering a safer future. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.un.org> (Дата посещения: 10.02.2023).
6. UN75. Shaping our future together. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.un.org> (Дата посещения: 16.11.2022).
7. Normatov I. Sh. Study of the spatial distribution of atmospheric precipitation in the Central and Western Pamirs using stable isotopes of surface waters / I. Sh. Normatov, A. Khomidov, P.I. Normatov, A.O. Muminov // *Hydrometeorological research and forecasts*. - 2022. - No. 3 (385). — S. 98-112. doi: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-3-98-112>.
8. Jarihani, B. Simulation of river flow in the Gunt River Basin in Tajikistan / B. Jarihani, A. Zemlyanskova, O. Makarieva // *Abstract EGU General Assembly 2022, 23-27 May 2022, Vienna, Austria*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8568>.
9. Hock R., Rasul G., Adler C., Cáceres B., Gruber S., Hirabayashi Y., Jackson M., Kääb A., Kang S., Kutuzov S., Milner A., Molau U., Morin S., Orlove B., Steltzer H. High Mountain Areas / IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Eds: H. O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okfem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer. – 2019. – Pp. 131-202.
10. Normatov, I.Sh. Seasonal and altitude fluctuations of stable isotopes of the rivers of the Western and Central Pamirs / I. Sh Normatov, G.T. Frumin G., A. Khomidov // *Hydrometeorology and ecology*. - 2022. - No. 67. - С. 230-242. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-230-242.
11. Normatov, I. Climate change impact on hydrological characteristics and water availability of the Mountain Pamir Rivers / I. Normatov, P. Normatov // *Proc. IAHS*. – 2020. – Vol. 383. – Pp 31-41. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-31-2020>.
12. Normatov, P.I. Meteorological Features of Climatic Zones in the Basin of the Transboundary River Pyanj / P.I. Normatov, B.A. Markaev, I. Sh. Normatov // *Bull. Irkutsk St. Univ*. – 2017. – Vol.21. – Pp.106-113.
13. Knowledge base on the use of land and water resources of the Aral Sea basin: Rivers, River systems. [Electronic resource] – Access mode: [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net). Date of visit: 04.12.2022.
14. Pohl, E. Sensitivity analysis and implications for surface processes from a hydrological modelling approach in the Gunt catchment, high Pamir Mountains / E. Pohl, M. Knoche, M.R. Gloaguen, C. Andermann, P. Krause // *Earth Surf. Dynam.* – 2015. – Vol. 3. – Pp. 333–362.
15. Fuchs, M.C. Tectonic and climatic forcing on the Pyanj river system during the Quaternary / M.C. Fuchs, R. Gloaguen, E. Pohl // *Int. J. Earth Sci.* – 2013. – Vol. 102. – Pp. 1985-2003.
16. Aizen, V.B. Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko glacier (Pamirs) snow/firn cores / V.B. Aizen, P.A. Mayewski, E.M. Aizen, D.R. Joswiak, A.B. Surazakov, S. Kaspari, B. Grigholm, M. Krachler, M. Handley, A. Finaev // *J. Glaciol.* – 2009. – Vol. 55. – Pp. 275-291.
17. Syed, F.S. Effect of remote forcings on the winter precipitation of central southwest Asia part 1: observations / F.S. Syed, F. Giorgi, J.S. Pal, M.P. King // *Theor. Appl. Climatol.* – 2006. – Vol. 86. – Pp. 147-160.
18. Palazzi, E. Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: observations and future scenarios / E. Palazzi, J.V. Hardenberg, A. Provenzale // *J. Geophys. Res. Atmos.* – 2013. – Vol. 118. – Pp. 85-100.

### **ТАШАККУЛИ ГИДРОЛОГИЯИ ДАРӢИ ҒУНТ ВОБАСТА БА ТАҚСИМОТИ ФАЗОИИ БОРИШОТИ МАВСИМӢ**

Бо мониторинги хусусиятҳои гидрометеорологии ҳавза осори таъсири тағйирёбии иқлим ба захираҳои барфу яхӣ ҳавзаи дарёи Ғунт муқаррар карда шудааст. Муайян кардани аломатҳои муносибати байни ҷараёни дарё ва арзишҳои мавсимии боришот бо истифодаи васеи коррелятсияҳои Пирсон, Студент ва Спирмен анҷом дода шуд. Тахмин меравад, ки тамоюли қариб доимии ҳарорати ҳавза дар давраи баррасӣ ва тамоюли пастшавии маҷрои дарё аз таназзули назарраси масоҳатҳои яхбандии ҳавза гувоҳӣ медиҳад. Тадричан кам шудани тафовути боришоти баҳорию зимистона ва лағшиши давраи максималии боришот ба давраи хунуктари солро метавон далели бевоситаи таъсири тағйирёбии иқлим ба шароити иқлимӣ ҳавзаи дарёи Ғунт донист.

**Калидвожаҳо:** Помир, дарёи Ғунт, ҷараёни об, боришот, таносуб, пирях, обшавии барф, массаи ҳаво, Панҷ.

### **ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИИ РЕКИ ҒУНТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЗОННЫХ ОСАДКОВ**

Мониторингом гидрометеорологических характеристик бассейна установлено следы влияния изменения климата на снежно-ледовые ресурсы бассейна. Выявлений признаков взаимосвязи стока реки от сезонных значений осадков осуществлен с широким применением корреляций Пирсона, Стьюдента и Спирмена. Предположено, что почти постоянный тренд температуры бассейна за рассматриваемый период и нисходящий тренд стока реки свидетельствует о существенной деградации оледенения бассейна. Постепенное уменьшение разницы весенних и зимних осадков и смещения периода максимальных осадков в более холодный период года можно считать косвенным подтверждением влияния изменения климата на климатические условия бассейна реки Гунт. **Ключевые слова:** Памир, река Гунт, сток, осадки, корреляция, ледник, таяние снега, воздушная масса, Пяндж.

#### **FORMATION OF THE GUNT RIVER HYDROLOGY DEPENDING ON THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SEASONAL PRECIPITATION**

By monitoring the hydrometeorological characteristics of the basin, traces of the impact of climate change on the snow and ice resources of the Gunt river basin have been established. The relationship identification of flow and seasonal precipitation carrying out with the wide use of Pearson, Student and Spearman correlations. It is assumed that an almost constant trend in the temperature of the basin over the period under consideration and a downward trend in the river flow indicate a significant degradation of the glaciation of the basin. The gradual decrease in the difference between spring and winter precipitation and the mixing of the period of maximum precipitation in the colder period of the year can be considered indirect evidence of the impact of climate change on the climatic conditions of the Gunt River basin.

**Keywords:** Pamir, Gunt River, runoff, precipitation, correlation, glacier, snowmelt, air mass, Pyanj

*Маълумот дар бораи муаллифон:* **Абдурахимов Бозор Ҳабибуллоевич** – Сардори Маркази Стандартикунони, метадалогия ва меъёрҳои экологии Кумитаи ҳифзи муҳити зисти назди Хукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Шамсӣ, 5/1. **E-mail:** zar.rakhimov@mail.ru.

**Одинаев Қодирҷон Нодирович** – унвонҷӯи кафедраи метеорология ва климатологияи факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 903-04-04-57. **E-mail:** odinaevqodir@gmail.com.

**Муминов Абулқосим Омонкулович** – номзади илмҳои ҷуғрофӣ, муаллими калони кафедраи метеорология ва климатологияи факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 935-25-00-86. **E-mail:** abulkosim86@mail.ru.

*Сведения об авторах:* **Абдурахимов Бозор Ҳабибуллоевич** – Начальник Центра стандартизации, методологии и экологических стандартов Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Шамси, 5/1. **E-mail:** zar.rakhimov@mail.ru.

**Одинаев Қодирҷон Нодирович** – соискатель кафедры метеорологии и климатологии физического факультета Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 903-04-04-57. **E-mail:** odinaevqodir@gmail.com.

**Муминов Абулқосим Омонкулович** – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры метеорологии и климатологии физического факультета Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 935-25-00-86. **E-mail:** abulkosim86@mail.ru.

*Information about authors:* **Abdurahimov Bozor Khabibulloevich** – Head of the Center for Standardization, Methodology and Environmental Standards of the Committee for Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan **Address:** Republic of Tajikistan, 734025, Dushanbe, St. Shamsi, 5/1. **E-mail:** zar.rakhimov@mail.ru.

**Odinaev Qodirjon Nodirovich** – Applicant of the Department of Meteorology and Climatology of the Faculty of Physics of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 903-04-04-57. **E-mail:** odinaevqodir@gmail.com.

**Muminov Abulkosim Omankulovich** – Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Physics of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 935-25-00-86. **E-mail:** abulkosim86@mail.ru.



## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОЛИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ПРИМЕРЕ КАЙРАККУМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

*Ходжибоева<sup>1</sup> М.Х., Муминов<sup>2</sup> А.О., Лугмонова<sup>1</sup> Ш.О.*

<sup>1</sup>Худжандский государственный университет им. Б. Гафурова

<sup>2</sup>Таджикский национальный университет

### ВВЕДЕНИЕ

Будучи древней инфраструктурой для хранения воды, водохранилище строилось около 4000 лет, и в настоящее время в мире все еще действуют миллионы водохранилищ площадью более 100 м<sup>2</sup> [1,2,3]. Водоохранилища играют ключевую роль в хранении и подаче воды в сельском и муниципальном хозяйстве [4,5], но на эту роль влияет потеря испарения из водохранилища [6,7]. По оценкам, среднегодовые потери воды из водохранилища в Соединенных Штатах составляют более 90 % годового объема коммунального водоснабжения [8] ежегодные потери в Китае составляют ~80% объема подачи воды для Среднего маршрута китайского проекта переброски воды [9]. Таким образом, оценка потерь от испарения из водохранилища важна для сохранения и управления водными ресурсами.

Оценка испарения из водохранилища требует конкретной географической информации и гидроклиматических данных [10], в то время как в связи с национальной и региональной безопасностью доступ к географической информации о водохранилищах ограничен. С учетом доступности данных существующие оценки испарения из резервуара выполняются в ограниченных временных и пространственных масштабах [11]. Пространственный масштаб оценки испарения из водохранилища в основном проводится в национальном и региональном масштабах, о чем свидетельствуют оценки в США [8,12], Китае [9].

Испарение с открытых поверхностных вод является важным и непрерывным процессом в круговороте воды. По оценкам, в глобальном масштабе потери на испарение из водохранилищ превышают совокупное потребление воды в промышленных и бытовых целях. Однако в современной практике управления водными ресурсами этот большой объем потерь воды рассматривается лишь приблизительно из-за сложностей, связанных с количественной оценкой этих потерь. Путем объединения методов дистанционного зондирования и моделирования в этом исследовании был разработан новый метод точной оценки потерь от испарения из 721 водохранилища на территории Соединенных Штатов (CONUS). Площади поверхности водохранилища были извлечены и расширены из глобального набора данных о поверхностных водах (GSWD) Landsat с марта 1984 г. по октябрь 2015 г. Скорость испарения была смоделирована с использованием уравнения Пенмана, в котором учитывался срок накопления тепла озером. Результаты валидации с использованием наблюдений на месте показывают, что этот подход может значительно повысить точность смоделированной месячной скорости испарения из водохранилища. Потери на испарение впоследствии оценивались как произведение площади поверхности на скорость испарения. В этой статье представлен первый в своем роде, всесторонне проверенный, применимый на местном уровне и согласующийся с континентом набор данных по испарению из резервуара. Результаты показывают, что долгосрочный средний годовой объем испарения из этих 721 резервуара составляет  $33,73 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>, что эквивалентно 93% годового общего водоснабжения США (в 2010 г.). В течение

периода исследования были обнаружены тенденция к увеличению скорости испарения (0,0076 мм/день/год) и тенденция к небольшому снижению общей площади поверхности (-0,011·10<sup>9</sup> м<sup>2</sup>/год). В результате суммарное испарение имеет незначительный тренд, но со значительной пространственной неоднородностью. Этот новый набор данных об испарении из водохранилища может способствовать более эффективному управлению водными ресурсами [8].

Вопрос о регулировании речного стока и строительстве крупных водохранилищ в Центральной Азии возник в 1950-е годы именно в связи с развитием орошаемого земледелия. Только с этого времени началось строительство таких крупных гидросооружений с водохранилищами большого объема как Кайраккумский и Нурекский в Таджикистане, Токтогульский в Киргизии, Туюмунский в Узбекистане.

Кардинальным решением совместного использования ирригационной и энергетических аспектов воды и предотвращения возможных конфликтных ситуаций между ирригацией и гидроэнергетикой является не ограничение деятельности какой-то одной из них или подчинение одной другой, а наоборот, наибольшее совместное их развитие путем строительства новых крупных ГЭС с водохранилищами большого объема. Для гидроэнергетики это означает увеличение производства дешевой и экологически чистой энергии, для ирригации – повышение глубины многолетнего регулирования стока и водообеспеченности уже освоенных земель, а также возможность освоения новых [13].

Наличие нескольких гидроузлов с водохранилищами позволит разрешить противоречия между гидроэнергетикой и ирригацией. Сегодня конфликт между ними возникает потому, что в бассейнах каждой из двух основных рек региона имеется всего по одному крупному гидроузлу с водохранилищем: на Сырдарье – Токтогульское в Киргизии, на Амударье – Нурекское в Таджикистане. Единственный на реке крупный гидроузел не может осуществлять регулирование стока одновременно в двух режимах – ирригационном и энергетическом [13].

Строительство еще одного крупного гидроузла на каждой из двух рек кардинально изменит ситуацию. В этом случае верхнее по течению водохранилище сможет работать в чисто энергетическом режиме, нижнее водохранилище такого же объема сможет перерегулировать сток вплоть до восстановления его естественного режима. Тем более оно может обеспечить регулирование стока в интересах ирригации. При наличии не двух, а большего количества гидроузлов с водохранилищами ситуация еще более улучшится [14].

В Республике Таджикистан из 527 Млрд. кВт·ч общих потенциальных гидроэнергетических ресурсов в настоящее время используется чуть более 5% [15]. Следовательно, можно ожидать, что в ближайшей перспективе будет возведено не одни десятки средних и крупных гидроэлектростанций с водохранилищами. Это значит, при планировании перспективы развития сельскохозяйственных районов прибрежных к водохранилищам необходимо учитывать фактор влияния водных резервуаров в трансформации метеорологических условий местности и внесение корректировок к нормам ирригации соответствующих культур.

Согласно [16,17] непосредственное влияние водохранилищ на метеорологические параметры близлежащих районов ощущается на расстояниях несколько сот метров, а в направлении ветра такое влияние может быть зарегистрировано на расстояниях более 10 км.

### **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Кайраккумское водохранилище (40°16'00"с. ш., 69°50'00" в. д.) расположена в центральной части водосборного бассейна реки Сырдарья в 20 км от г. Худжанда центра Сугдской области Республики Таджикистан (рис.1).

Водохранилище используется для сезонного регулирования стока реки с целью обеспечения воды для орошения, а также для производства электроэнергии.

**Рисунок 1. Схема расположения Кайраккумского водохранилища**  
**Figure 1. Scheme of the Kairakkum reservoir location**



Наполнение водохранилища началось в 1956 г. и окончательно введено в эксплуатацию в 1959 г. Кайраккумское водохранилище характеризуется длиной 55 км, шириной 20 км, максимальной глубиной 25 м и общим объемом воды  $4,2 \text{ км}^3$  с площадью зеркала  $513 \text{ км}^2$ . Кайраккумское водохранилище замерзает зимой, а в летнее время температура воздуха у побережья составляет  $30\text{-}35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Были использованы данные расположенной непосредственно в районе исследования метеорологической станции “Кайраккумское водохранилище” за период 1960-2021 гг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчета значений эвапотранспирации ( $ET_0$ ) ныне существуют ряд уравнений. Однако в настоящее время по рекомендации Продовольственной и сельскохозяйственной организации (FAO) широко используется и может считаться своего рода эталоном уравнение Пенмана-Монтейта (ПМ) [18,19]. К основным преимуществам уравнения ПМ относятся применение физического подхода, указывающий на то, что метод можно использовать глобально без необходимости дополнительных оценок параметров и хорошо документированность, реализация его в широком диапазоне программного обеспечения.

Однако основным недостатком применения ПМ является относительно высокая потребность в данных по температуре воздуха, скорости ветра, относительной влажности и солнечном излучении. Количество метеостанций где измеряются все эти параметры, ограничены во многих регионах земного шара.

Это побудила многих исследователей [20,21] к разработке альтернативного подхода, в котором требуются данные ограниченного количества метеорологических

параметров (средняя максимальная и средняя минимальная температура воздуха, среднемесячные значения атмосферных осадков и излучение).

Для определения значений эвапотранспирации было использовано следующее уравнение:

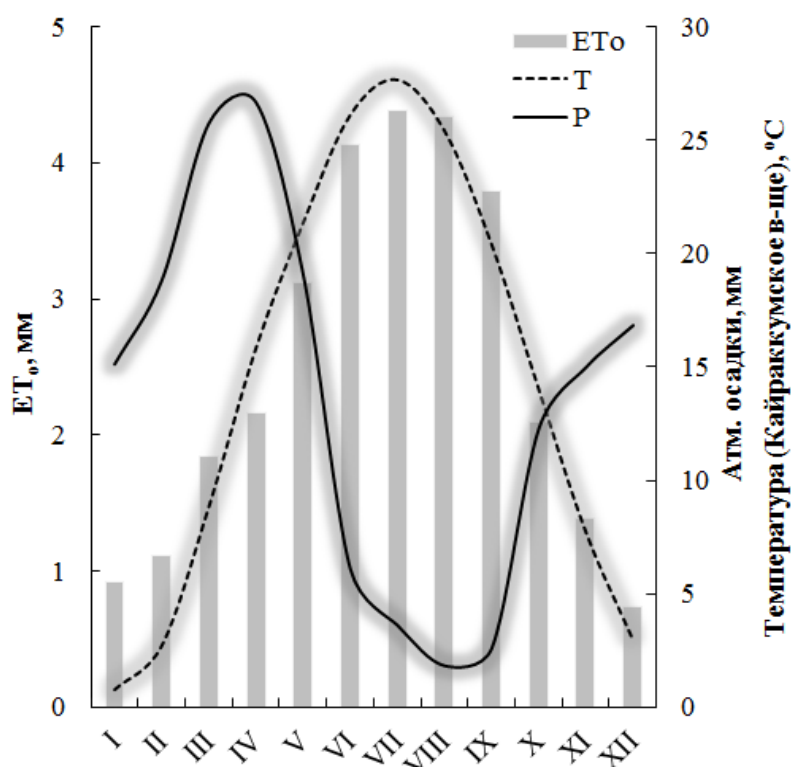
$$E_{T_0} = 0.0013 \cdot 0.408R_a \cdot (T_{\text{сред.}} + 17.0) \cdot (\Delta T - 0.0123 \cdot P)^{0.76} \quad (1)$$

где,  $R_a$  — внеземная радиация, выраженная в (МДж/ м<sup>2</sup>· день),  $T_{\text{сред.}}$  — средняя дневная температура (°С),  $\Delta T$ (°С) – разница между среднесуточным максимумом и минимумом температуры.  $P$  – среднемесячное значение атмосферных осадков; 0,408 – константа, преобразования излучения в эквивалент испарения в мм; 0,0023 и 17,8 постоянные уравнения (1).

На рис.2 представлены значения метеорологических характеристик и эвапотранспирации местности расположения Кайраккумского водохранилища 1961 года (после двух лет заполнения водохранилища водой), который показывает характерную картину для полуаридного климата большинства районов региона Центральной Азии.

**Рисунок 2. Сезонное распределение атмосферных осадков, температуры и эвапотранспирации зоны расположения Кайраккумского водохранилища**

**Figure 2. Seasonal distribution of precipitation, temperature and evapotranspiration in the zone of location of the Kairakkum reservoir**



Для выявления особенностей влияния изменения климата на территории расположения водохранилища проводился сравнительный анализ метеорологических характеристик и эвапотранспирации 1961 и 2015 гг.

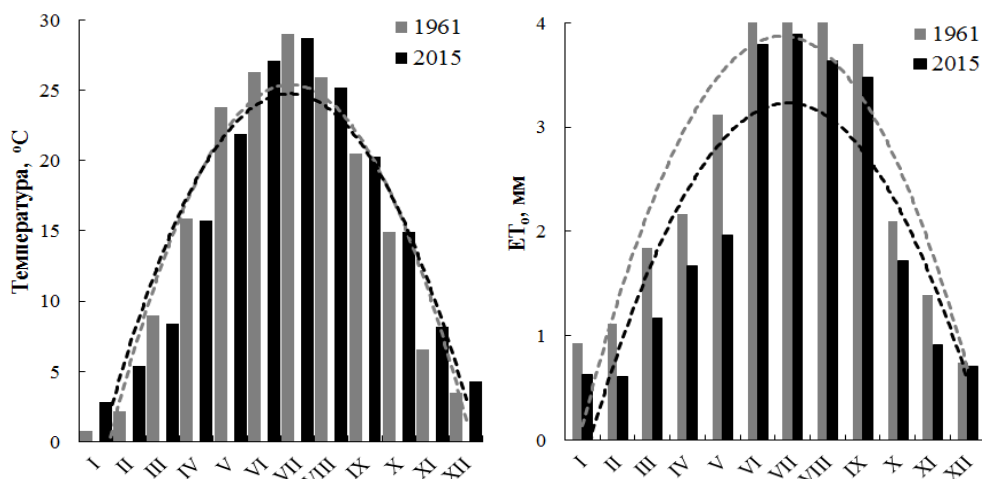
Увеличение температуры в зоне расположения Кайраккумского водохранилища за период 1960 - 2015 гг составляла  $6,94 \cdot 10^{-3}$  °С/год и разница температур между началом и концом рассматриваемого периода равнялась 0, 375 °С.

Из уравнения (1) и рис.2 видно, что увеличение температуры сопровождается возрастанием эвапотранспирации. Хотя несмотря на почти одинаковые среднегодовые

температуры эвапотранспирация в 2015 году значительно меньше чем в 1961 году (рис. 3).

**Рисунок 3. Сезонное распределение температуры и эвапотранспирации в зоне расположения Кайраккумского водохранилища в 1961г. и 2015 г**

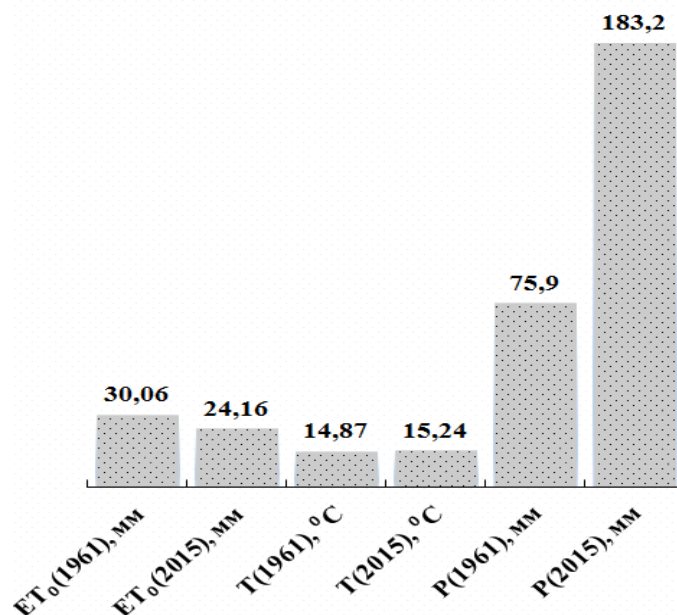
**Figure 3. Seasonal distribution of temperature and evapotranspiration in the area of the Kairakkum reservoir in 1961 and 2015**



В уравнение (1) наряду с параметрами солнечной радиации и температуры входит среднеемесячное значение атмосферных осадков как вычитаемое составляющее. Влияние среднеемесячных значений атмосферных осадков на эвапотранспирацию в наглядной форме представлено на рис.4.

**Рисунок 4. Среднемесячные значения температуры, атмосферных осадков и эвапотранспирации в зоне расположения Кайраккумского водохранилища в 1961 и 2015 гг**

**Figure 4. Average monthly values of temperature, precipitation and evapotranspiration in the area of the Kairakkum reservoir in 1961 and 2015**



Из рис.4 следует, что среднегодовая температура 2015 года выше чем 1961 году. Следовательно, должно было бы наблюдаться превышение эвапотранспирации в 2015 году. Однако это не наблюдается на рис.4 и причиной тому достаточное количество атмосферных осадков, которое приводит к ослаблению процессов эвапотранспирации в 2015 году.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом мониторингом метеорологических параметров зоны расположения Кайракумского водохранилища установлено, что за период 1960-2015 гг. увеличение температуры составляет  $6,94 \cdot 10^{-3}$  °C/год и разница температур между началом и концом рассматриваемого периода равняется 0,375 °C. Обнаружено возрастание эвапотранспирации с увеличением температуры и несмотря на почти одинаковые среднегодовые температуры исследованных лет эвапотранспирация в 2015 году значительно меньше чем в 1961 году. Установлено, что причиной тому достаточное количество атмосферных осадков, которое приводит к ослаблению процессов эвапотранспирации в 2015 году.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Assouline, S. Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers / S. Assouline, K. Narkis, D. Or // *Water Resour. Res.* – 2011. – Vol. 47. – W07506. doi: 10.1029/2010WR009889.
2. Tian, W. Estimation of global reservoir evaporation losses / W. Tian, X. Liu, K. Wang, P. Bai, C. Liu, X. Liang // *J. Hydrology.* – 2022. – Vol.607. – P. 127524.
3. Lehner, B. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management / B. Lehner, C.R. Liermann, C. Revenga, C. Vörösmarty, B. Fekete, P. Crouzet, P. Döll, M. Endejan, K. Frenken, J. Magome, C. Nilsson, J.C. Robertson, R. Rödel, N. Sindorf, D. Wisser // *Frontiers in ecology and the environment.* – 2011. – Vol.9 (9). – Pp. 494-502. <https://doi.org/10.1890/100125>.
4. Tharme, R.E. A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers / R.E. Tharme // *River Research and Applications.* – 2003. – Vol.19. – Pp. 397-442. <http://dx.doi.org/10.1002/rra.736>.
5. Prigent, C. Changes in land surface water dynamics since the 1990s and relation to population pressure / C. Prigent, F. Papa, F. Aires, C. Jiménez, W.B. Rossow, E. Matthews // *Geophys. Res. Lett.* – 2012. – Vol.39. – L08403. doi:10.1029/2012GL051276.
6. Zhang, B. A water-energy balance approach for multi-category drought assessment across globally diverse hydrological basins / B. Zhang, A.A. Kouchak, Y. Yang, J. Wei, G. Wang // *Agricultural and Forest Meteorology.* – 2019. – Vol.264. – Pp. 247-265. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.010>.
7. Jansen, F.A. Evaporation from a large lowland reservoir – (dis) agreement between evaporation models from hourly to decadal timescales / F.A. Jansen, A.J. Teuling // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2020. – Vol.24. – Pp. 1055-1072. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1055-2020>.
8. Zhao, G. Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches / G. Zhao, H. Gao // *Remote Sensing of Environment.* – 2019. – Vol.226. – Pp. 109-124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.015>.
9. Tian, W. Estimation of reservoir evaporation losses for China / W. Tian, X. Liu, K. Wang, P. Bai, C. Liu // *J. Hydrology.* – 2021. – Vol.596. – P. 126142. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126142>.
10. Lowe, L.D. Evaporation from water supply reservoirs: An assessment of uncertainty / L.D. Lowe, J.A. Webb, R.J. Nathan, T. Etchells, H.M. Malano // *J. Hydrology.* – 2009. – Vol.376. – Pp. 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.037>.
11. Helfer, F. Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia / F. Helfer, C. Lemckert, H. Zhang // *J. Hydrology.* – 2012. – Vol.475. – Pp. 365-378. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.008>.
12. Zhang, H.A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss / H. Zhang, S.M. Gorelick, P.V. Zimba, X. Zhang // *J. Hydrology.* – 2017. – Vol.555. – Pp. 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.007>.
13. Petrov, G.N. Conflict of interests between water users in the Central Asian region and possible ways its elimination / G.N. Petrov, I. Sh. Normatov // *Wat. Res.* – 2010. – Vol.37 (1). – Pp. 113-120.

14. Normatov, I.Sh. Ecological, irrigation and energetic criteria of construction of reservoirs / I. Sh. Normatov, G.N. Petrov // *Dams and Reservoirs, Societies and Environment in the 21st Century, Two Volume Set: Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century, 22nd International Congress on Large Dams (ICOLD)*. Barcelona, Spain, 18 June 2006. – CRC Press. – 2006. – P. 301.
15. Normatov, P. The Mountain Water Reservoirs Influence on Meteorological Conditions of Coastal Area / P. Normatov, B. Markaev, A. Muminov, I. Normatov // *Proc. 4<sup>th</sup> International Conference “Long-term behavior and environmentally friendly rehabilitation technologies of dams”*. 17-19 October 2017. Tehran, Iran. – 2017. – Pp. 88-95.
16. Normatov, I. Sh. Creation of adaptation mechanisms: the key to Cost-effective and environment-friendly water management / I. Sh. Normatov, U. Murtazaev, N. Nasirov // *IAHS Publ. Red Book*. – 2010. – Vol.338. – Pp. 74-76.
17. Муртазаев, У.И. Водохранилища Таджикистана и их влияние на прилегающие ландшафты / У.И. Муртазаев. Душанбе: Ирфон, 2005. – 304 с.
18. Allen, R.G. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements / R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith // *Irrigation and Drainage Paper*. – 1998. – No. 56. – 36 p.
19. Walter, I.A. ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation / I.A. Walter, R.J. Allen, R. Elliott, B. Mecham, M.E. Jensen, D. Itenfisu, T.A. Howell, R. Snyder, P. Brown, S. Echings, T. Spofford, M. Hattendorf, R.H. Cuenca, J. L. Wright, D. Martin // *Proc. National Irrigation Symposium. ASAE*. Nov. 14–16 2000. Eds: R.G. Evans, B.L. Benham, T.R. Trooien. Phoenix, AZ. – 2000. – Pp. 209-215.
20. Hargreaves, G.H. Defining and using reference evapotranspiration / G.H. Hargreaves // *J. Irrig. and Drain. Eng.* – 1994. – Vol.120 (6). – Pp. 1132–1139.
21. Hargreaves, G.L. Agricultural benefits for Senegal River basin / G.L. Hargreaves, G.H. Hargreaves, J.P. Riley // *J. Irrig. and Drain. Eng.* – 1985. – Vol.111 (2). – Pp. 113-124.

#### REFERENCES

1. Assouline, S. Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers / S. Assouline, K. Narkis, D. Or // *Water Resour. Res.* – 2011. – Vol. 47. – W07506. doi: 10.1029/2010WR009889.
2. Tian, W. Estimation of global reservoir evaporation losses / W. Tian, X. Liu, K. Wang, P. Bai, C. Liu, X. Liang // *J. Hydrology*. – 2022. – Vol.607. – P. 127524.
3. Lehner, B. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management / B. Lehner, C.R. Liermann, C. Revenga, C. Vörösmarty, B. Fekete, P. Crouzet, P. Döll, M. Endejan, K. Frenken, J. Magome, C. Nilsson, J.C. Robertson, R. Rödel, N. Sindorf, D. Wisser // *Frontiers in ecology and the environment*. – 2011. – Vol.9 (9). – Pp. 494-502. <https://doi.org/10.1890/100125>.
4. Tharme, R.E. A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers / R.E. Tharme // *River Research and Applications*. – 2003. – Vol.19. – Pp. 397-442. <http://dx.doi.org/10.1002/rra.736>.
5. Prigent, C. Changes in land surface water dynamics since the 1990s and relation to population pressure / C. Prigent, F. Papa, F. Aires, C. Jiménez, W.B. Rossow, E. Matthews // *Geophys. Res. Lett.* – 2012. – Vol.39. – L08403. doi:10.1029/2012GL051276.
6. Zhang, B. A water-energy balance approach for multi-category drought assessment across globally diverse hydrological basins / B. Zhang, A.A. Kouchak, Y. Yang, J. Wei, G. Wang // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2019. – Vol.264. – Pp. 247-265. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.010>.
7. Jansen, F.A. Evaporation from a large lowland reservoir–(dis) agreement between evaporation models from hourly to decadal timescales / F.A. Jansen, A.J. Teuling // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2020. – Vol.24. – Pp. 1055-1072. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1055-2020>.
8. Zhao, G. Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches / G. Zhao, H. Gao // *Remote Sensing of Environment*. – 2019. – Vol.226. – Pp. 109-124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.015>.
9. Tian, W. Estimation of reservoir evaporation losses for China / W. Tian, X. Liu, K. Wang, P. Bai, C. Liu // *J. Hydrology*. – 2021. – Vol.596. – P. 126142. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126142>.
10. Lowe, L.D. Evaporation from water supply reservoirs: An assessment of uncertainty / L.D. Lowe, J.A. Webb, R.J. Nathan, T. Etchells, H.M. Malano // *J. Hydrology*. – 2009. – Vol.376. – Pp. 261-274. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.037>.
11. Helfer, F. Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia / F. Helfer, C. Lemckert, H. Zhang // *J. Hydrology*. – 2012. – Vol.475. – Pp. 365-378. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.008>.

12. Zhang, H.A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss / H. Zhang, S.M. Gorelick, P.V. Zimba, X. Zhang // J. Hydrology. – 2017. – Vol.555. – Pp. 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.007>.
13. Petrov, G.N. Conflict of interests between water users in the Central Asian region and possible ways its elimination / G.N. Petrov, I. Sh. Normatov // Wat. Res. – 2010. – Vol.37 (1). – Pp. 113-120.
14. Normatov, I.Sh. Ecological, irrigation and energetic criteria of construction of reservoirs / I. Sh. Normatov, G.N. Petrov // Dams and Reservoirs, Societies and Environment in the 21st Century, Two Volume Set: Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century, 22nd International Congress on Large Dams (ICOLD). Barcelona, Spain, 18 June 2006. – CRC Press. – 2006. – P. 301.
15. Normatov, P. The Mountain Water Reservoirs Influence on Meteorological Conditions of Coastal Area / P. Normatov, B. Markaev, A. Muminov, I. Normatov // Proc. 4<sup>th</sup> International Conference “Long-term behavior and environmentally friendly rehabilitation technologies of dams”. 17-19 October 2017. Tehran, Iran. – 2017. – Pp. 88-95.
16. Normatov, I. Sh. Creation of adaptation mechanisms: the key to Cost-effective and environment-friendly water management / I. Sh. Normatov, U. Murtazaev, N. Nasirov // IAHS Publ. Red Book. – 2010. – Vol.338. – Pp. 74-76.
17. Murtazaev, U.I. Reservoirs of Tajikistan and their impact on adjacent landscapes / U.I. Murtazaev. – Dushanbe: Irfon, 2005. – 304 p.
18. Allen, R.G. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements / R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith // Irrigation and Drainage Paper. – 1998. – No. 56. – 36 p.
19. Walter, I.A. ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation / I.A. Walter, R.J. Allen, R. Elliott, B. Mecham, M.E. Jensen, D. Itenfisu, T.A. Howell, R. Snyder, P. Brown, S. Echings, T. Spofford, M. Hattendorf, R.H. Cuenca, J. L. Wright, D. Martin // Proc. National Irrigation Symposium. ASAE. Nov. 14–16 2000. Eds: R.G. Evans, B.L. Benham, T.R. Trooien. Phoenix, AZ. – 2000. – Pp. 209-215.
20. Hargreaves, G.H. Defining and using reference evapotranspiration / G.H. Hargreaves // J. Irrig. and Drain. Eng. – 1994. – Vol.120 (6). – Pp. 1132–1139.
21. Hargreaves, G.L. Agricultural benefits for Senegal River basin / G.L. Hargreaves, G.H. Hargreaves, J.P. Riley // J. Irrig. and Drain. Eng. – 1985. – Vol.111 (2). – Pp. 113-124.

#### **ЭВАПОТРАНСПИРАТСИЯИ МАСОҲАТҲОИ НАЗДИ СОҲИЛИИ ОБАНБОРҲОИ ВОДИГӢ ДАР МИСОЛИ ОБАНБОРИ ҚАЙРОҚУМ**

Ҳадафи кор арзёбии динамикаи бузургиҳои метеорологӣ ва эвапотранспиратсияи макони ҷойгиршавии обанбори Қайроқум аз оғози пур шудани он бо об то соли 2022 мебошад. Таҳлили мукоисавии бузургиҳои метеорологӣ ва эвапотранспиратсия дар солҳои 1961 ва 2015 барои муайян кардани хусусиятҳои таъсири тағирёбии иқлим ба минтақаҳои соҳилии назди обанбор гузаронида шуд. Баландшавии миёнаи бисёрсолаи ҳарорат дар мавзеи обанбори Қайроқум дар солҳои 1960-2015  $6,94 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/сол}$  буда фарқияти ҳарорати байни солҳои аввал ва охири давраи баррасишуда  $0,375 \text{ } ^\circ\text{C}$ -ро ташкил дод. Афзоиши эвапотранспиратсия бо баландшавии ҳарорат мушоҳида гардид ва гарчанде сарфи назар аз он, ки фарқияти ҳарорати миёнаи солҳои 2015 ва 1961 хеле кам буд, қимати хело камиевапотранспиратсия дар соли 2015 ба мушоҳида расид. Муайян карда шуд, ки сабаби ин баргарики микдори боришот дар соли 2015 мебошад, ки боиси суст шудани равандҳои бухоршавӣ мегардад.

**Калидвожаҳо:** обанбори Қайроқум, бухоршавӣ, боришот, ҳарорат, тағирёбии иқлим.

#### **ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ ПРИБРЕЖНЫХ К ДОЛИННЫМ ВОДОХРАНИЛИЩАМ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ КАЙРАККУМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Целью настоящей работы является оценка динамики метеорологических характеристик и эвапотранспирации местности расположения Кайраккумского водохранилища с начала заполнения его водой до 2022 года. Для выявления особенностей влияния изменения климата на прибрежных к водохранилищу территорий проводился сравнительный анализ метеорологических характеристик и эвапотранспирации 1961 и 2015 гг. Увеличение температуры в зоне расположения Кайраккумского водохранилища за период 1960 - 2015 гг составляла  $6,94 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/год}$  и разница температур между началом и концом рассматриваемого периода равнялась  $0,375 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Обнаружено возрастание эвапотранспирации с увеличением температуры и, хотя несмотря на почти одинаковые среднегодовые температуры исследованных лет эвапотранспирация в 2015 году была значительно меньше чем в 1961 году. Установлено, что причиной тому достаточное количество атмосферных осадков, которое приводит к ослаблению процессов эвапотранспирации в 2015 году.



**Ключевые слова:** Кайраккумское водохранилище, эвапотранспирация, осадки, температура, изменение климата.

## EVAPOTRANSPIRATION OF COASTAL TERRITORIES TO VALLEY RESERVOIRS ON THE EXAMPLE OF THE KAIRAKKUM RESERVOIR

The purpose of the work is to assess the dynamics of meteorological characteristics and evapotranspiration of the location of the Kairakkum reservoir from the beginning of its filling with water until 2022. A comparative analysis of meteorological parameters and evapotranspiration in 1961 and 2015 to identify the features of the impact of climate change on the coastal territories of the reservoir was carried out. The temperature increase in the Kairakkum reservoir area for periods 1960 - 2015 was  $6.94 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/yr}$ , and the temperature difference between the beginning and end of the period under consideration was  $0.375 \text{ }^\circ\text{C}$ . Increasing evapotranspiration with increasing temperature, although despite almost the same average annual temperatures of the studied years, evapotranspiration in 2015 was significantly less than in 1961. The reason for this is a sufficient amount of precipitation that leads to the weakening of evapotranspiration processes in 2015.

**Keywords:** Kayrakkum reservoir, evapotranspiration, precipitation, temperature, climate change.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** **Хочибоева Мушараф Ҳакимҷоновна** – муаллими калони кафедраи физикаи умумӣ ва ҳисмҳои саҳти факултети физикаи техникаи Донишгоҳи давлатии Хучанди ба номи Б. Гафуров. **Суроға:** 735700, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Хучанд, к. Мавлонбеков, 1. **E-mail:** umarova52@gmail.com.

**Муминов Абулқосим Омонкулович** – номзади илмҳои ҷуғрофӣ, муаллими калони кафедраи метеорология ва климатологияи факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 935-25-00-86. **E-mail:** abulkosim86@mail.ru.

**Луғмонова Шафоат Одилҷоновна** – номзади илмҳои физика – математика, дотсент, мудири кафедраи назарияи физикаи факултети физика-техникаи Донишгоҳи давлатии Хучанди ба номи Б. Гафуров. **Суроға:** 735700, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Хучанд, к. Мавлонбеков, 1. **Телефон:** (+992) 926-43-81-43. **E-mail:** lugmonovash94@mail.ru.

**Сведение об авторах:** **Ходжибоева Мушараф Ҳакимҷоновна** – старший преподаватель кафедры общей физики и твердого тела физико-технического факультета Худжандского государственного университета им. Б. Гафурова. **Адрес:** 735700, Республика Таджикистан, г. Худжанд, проезд Мавлонбекова, 1. **E-mail:** umarova52@gmail.com.

**Муминов Абулқосим Омонкулович** – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры метеорологии и климатологии физического факультета Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 935-25-00-86. **E-mail:** abulkosim86@mail.ru.

**Луғмонова Шафоат Одилҷоновна** – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой теории физики физико-технического факультета Худжандского государственного университета им. Б. Гафурова. **Адрес:** 735700, Республика Таджикистан, г. Худжанд, проезд Мавлонбекова, 1. **Телефон:** (+992) 926-43-81-43. **E-mail:** lugmonovash94@mail.ru.

**Information about authors:** **Khodjiboeva Musharaf Khakimjonovna** – Senior Lecturer, Department of General Physics and Solid State, Faculty of Physics and Technology, Khujand State University. **B. Gafurov. Address:** 735700, Republic of Tajikistan, Khujand, Mavlonbekov passage, 1. **E-mail:** umarova52@gmail.com.

**Muminov Abulkosim Omankulovich** - Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Physics of Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 935-25-00-86. **E-mail:** abulkosim86@mail.ru.

**Lugmonova Shafat Odiljonovna** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Theory of Physics of the Faculty of Physics and Technology of Khujand State University named after B. Gafurov. **Address:** 735700, Republic of Tajikistan, Khujand, Mavlonbekov passage, 1. **Phone:** (+992) 926-43-81-43. **E-mail:** lugmonovash94@mail.ru.

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ГОРНОГО РЕГИОНА ТАДЖИКИСТАНА

*Рахими Ф. \*, Абдуллаев С.Ф., Шокир Ф.,  
Холмуродов Ф., Азизшоев К.М.*

**\*Национальная академия наук Таджикистана,  
Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ**

### Введение

В этой статье сообщается о результатах элементного анализа образцов почв горного региона Таджикистана методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии (XRF).

Рост промышленной деятельности, количества транспортных средств на дорожных трассах населения крупных городов являются одними из главных причин загрязнения воздуха в окружающей среде, которая в конечном итоге, влияет на здоровье человека. Взрослые и дети сталкиваются с непреднамеренным проглатыванием значительных количеств пыли или почвы различными путями, в основном вдыханием и через кожу [1-4]. При этом дети относительно плохо толерантны к загрязняющим веществам и, следовательно, более уязвимы к риску для здоровья [5-7]. Кроме того, пожилые люди, могут быть чувствительны к высоким уровням содержания металлов в почве. Таким образом, населения регулярно подвергаются воздействию частиц пыли, в том числе воздействию верхнего слоя почвы помещений. Степень загрязнения может варьироваться от места к месту и зависит от окружающей среды. В соответствии с ГОСТ 17.4.1.0283 загрязняющие вещества по опасности делятся на следующие классы: I класс (высоко опасные) – As, Cd, Hg, Se, Pb, F, бенз(а)пирен и Zn; II класс (умеренно опасные) – В, Со, Ni, Мо, Cu, Sb и Cr; III класс (мало опасные) – Ва, V, W, Mn, Sr и ацетофенон. Металлы-загрязнители обычно присутствуют в верхних слоях почвы и пыли, которые могут проникать в наш организм при проглатывании, вдыхании и адсорбции через кожу. Следовательно, любое избыточное содержание тяжелых металлов будет угрожать биологической жизни [8-9]. Металлы-загрязнители могут накапливаться в жировых тканях нашего тела и воздействовать на наши основные нервные системы, или они могут откладываться в нашей сердечно-сосудистой системе и нарушать типичное функционирование наших внутренних органов, а также могут действовать как комплексные факторы при различных заболеваниях [10-11]. В [12-13] утверждается, что дети и даже пожилые люди часто сталкиваются с респираторными заболеваниями из-за загрязнения тяжелыми металлами. Это часто приводит к незначительному раздражению верхних дыхательных путей, что приводит к респираторным и сердечным заболеваниям и даже могут влиять на возникновение дисфункции мозга, нервов и почек [14]. Поэтому задача определения и оценки риска для здоровья от ядовитых металлов в почве является актуальной особенно в вопросах охраны окружающей среды и здоровья населения. В индустриально развитых странах традиционно проводятся множество исследований по загрязнению почвы и пыли, при выветривании промышленных и жилых территорий и окружающей среды [15-20].

Вариации и изменения состава почвы имеют как естественную – природную так и искусственную – антропогенную причину. И если в результате природных катаклизмов – селей, извержений вулканов, землетрясений, наводнений – экосистемы самостоятельно регенерируются, то с вмешательством человека в природу все не так

просто. Поэтому основной проблемой для горной местности являются человек и его деятельность – хозяйственно-бытовая и промышленная. В нашей стране горный рельеф имеет существенное преимущество, с охватом 93% территории, от 300 до 7495 метров н.у.м. При этом горы весьма восприимчивы к нарушению экологического равновесия под влиянием деятельности человека или природных процессов. Горные районы наиболее остро реагируют на все атмосферно-климатические изменения [21]. Настоящее исследование было разработано для анализа с использованием метода XRF репрезентативных образцов почвы из различных горных зон Таджикистана. Конкретными задачами данного исследования являются следующие особенности: определение концентраций Cu, Pb, Zn, As, Cd, Cr, Mn и Ni в пробах почвы различных высокогорных зон, выявление возможных источников (антропогенных или природных) различных металлов путем оценки фактора обогащения (EF), коэффициента загрязнения, индекса загрязнения окружающей среды и индекса геоаккумуляции. В табл.1 представлен характеристика места сбора проб почв горного региона.

**Таблица 1. Описание отобранных проб почв горного региона**  
**Table 1. Description of selected soil samples in the mountainous region**

| №  | Дата       | Местность       | Широта (с.ш) | Долгота (в.д) | Высота (м над ур.м.) |
|----|------------|-----------------|--------------|---------------|----------------------|
| 1  | 15.08.2022 | Колуч-кул       | 37°40'39"    | 73°38'04"     | 4375                 |
| 2  | 12.08.2022 | Колуч-кул       | 37°38'51"    | 73°39'19"     | 4342                 |
| 3  | 20.08.2022 | р.Пяндж         | 38°20'83"    | 70°36'60"     | 1382                 |
| 4  | 19.08.2022 | р.Пяндж (Шпад)  | 38°06'57"    | 71°19'73"     | 1672                 |
| 5  | 19.08.2022 | р.Пяндж (Рушан) | 37°53'50"    | 71°35'44"     | 2020                 |
| 6  | 12.08.2022 | Колуч-кул       | 37°39'24"    | 73°39'17"     | 4308                 |
| 7  | 12.08.2022 | Колуч-кул       | 37°37'89"    | 73°39'25"     | 4335                 |
| 8  | 07.08.2022 | Ак-Архар        | 37°57'34"    | 73°42'73"     | 4654                 |
| 9  | 07.08.2022 | Ак-Архар        | 37°57'71"    | 73°42'85"     | 4456                 |
| 10 | 19.08.2022 | р.Пяндж(Ёгед)   | 37°37'88"    | 71°31'62"     | 2050                 |
| 11 | 07.08.2022 | Ак-Архар        | 37°57'34"    | 73°43'01"     | 4575                 |
| 12 | 15.08.2022 | Колуч-кул       | 37°40'82"    | 73°38'08"     | 4444                 |
| 13 | 15.08.2022 | Колуч-кул       | 37°40'83"    | 73°38'09"     | 4416                 |
| 14 | 07.08.2022 | Ак-Архар        | 37°57'76"    | 73°43'03"     | 4428                 |
| 15 | 07.08.2022 | Ак-Архар        | 37°57'62"    | 73°42'70"     | 4575                 |
| 16 | 11.08.2022 | Колуч-кул       | 37°39'84"    | 73°40'46"     | 4428                 |
| 17 | 15.08.2022 | Колуч-кул       | 37°39'86"    | 73°38'70"     | 4300                 |
| 18 | 08.08.2022 | Колуч-кул       | 37°57'79"    | 73°44'10"     | 4281                 |
| 19 | 09.08.2022 | Ак-Архар        | 37°56'61"    | 73°43'69"     | 4462                 |
| 20 | 08.08.2022 | Колуч-кул       | 37°57'49"    | 73°43'35"     | 4352                 |
| 21 | 09.08.2022 | Ак-Архар        | 37°57'12"    | 73°43'14"     | 4425                 |
| 22 | 14.08.2022 | Колуч-кул       | 37°41'64"    | 73°39'30"     | 4520                 |
| 23 | 14.08.2022 | Колуч-кул       | 37°41'35"    | 73°39'76"     | 4482                 |
| 24 | 14.08.2022 | Колуч-кул       | 37°41'07"    | 73°39'82"     | 4376                 |
| 25 | 14.08.2022 | Колуч-кул       | 37°40'90"    | 73°39'92"     | 4269                 |

|    |            |           |           |           |      |
|----|------------|-----------|-----------|-----------|------|
| 26 | 14.08.2022 | Колуч-кул | 37°41'71" | 73°38'88" | 4605 |
| 27 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'66" | 73°40'45" | 4491 |
| 28 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'84" | 73°40'46" | 4428 |
| 29 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'30" | 73°39'63" | 4549 |
| 30 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'59" | 73°39'85" | 4530 |
| 31 | 20.08.2022 | Язгулям   | 38°11'29" | 71°25'55" | 1670 |
| 32 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'66" | 73°40'15" | 4490 |
| 33 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'30" | 73°39'63" | 4549 |
| 34 | 09.08.2022 | Ак-Архар  | 37°57'12" | 73°43'14" | 4425 |
| 35 | 09.08.2022 | Ак-Архар  | 37°56'73" | 73°43'43" | 4643 |
| 36 | 11.08.2022 | Колуч-кул | 37°39'63" | 73°39'39" | 4362 |

### Обсуждение результатов

**Фактор обогащения.** Фактор обогащения (EF) использовался для оценки уровня загрязнения металлами и возможных природных или антропогенных источников (табл.2). EF определяется математически из уравнения [22]:

$$EF = \frac{(C_x/C_{ref})_{sample}}{(C_x/C_{ref})_{background}}$$

где  $(C_x/C_{ref})_{проба}$  – отношение концентраций целевого металла и эталонного металла в пробах почвы  $(C_x/C_{ref})_{фон}$  – относится к соотношению концентраций целевого металла и эталонного металла в фоновом материале [23]. Железо использовалось как нормализатор, а концентрации элементов в земной коре принимались за фон. EF также может дать понимание отделения антропогенного источника от природного. Кроме того, EF также помогает определить степень загрязнения почвы элементом. Факторы обогащения были разделены на следующие пять типов в зависимости от уровня факторов обогащения: (1)  $EF < 2$  указывает на дефицит до номинального обогащения, (2)  $2 \leq EF < 5$  указывает на разумное обогащение, (3)  $5 \leq EF < 20$  указывает на значительное обогащение, (4)  $20 \leq EF < 40$  указывает на чрезмерное обогащение и (5)  $EF \geq 40$  указывает на чрезвычайно высокое обогащение [24].

**Коэффициент загрязнения (CF).** Для оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами в дорожной пыли и определения общего уровня загрязнения на конкретной дороге в данном исследовании применялись коэффициенты загрязнения и индексы нагрузки загрязнения [16]. Коэффициент загрязнения (CF) рассчитывается по следующей формуле:

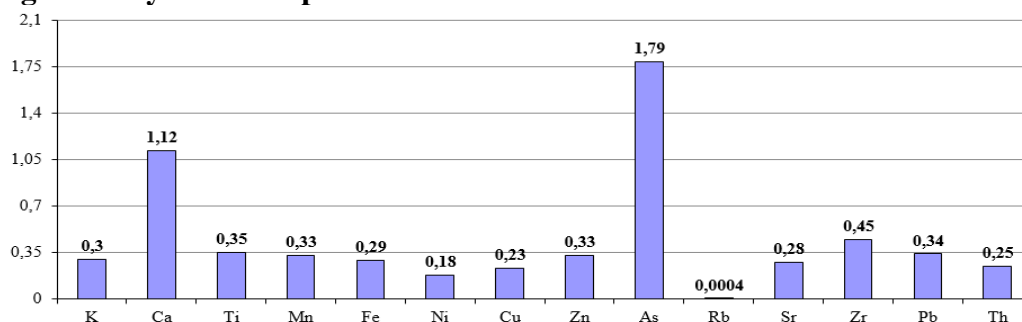
$$CF = \frac{C_{metal}}{C_{background}}$$

где  $C_{металл}$  – концентрация загрязняющего вещества, а  $C_{фон}$  – фоновое значение для исследуемого металла. В качестве фонового значения металла используется среднее значение геохимического фона в земной коре для металлов-примесей [18]. CF был разделен на четыре группы: (1)  $CF < 1$  означает слабое загрязнение, (2)  $1 \leq CF < 3$  означает умеренное загрязнение, (3)  $3 \leq CF < 6$  означает значительное загрязнение и (4)  $CF > 6$  означает очень высокое загрязнение [25] (рис.1)

**Таблица 2. Фактор обогащения**  
**Table 2. Enrichment factor**

| Проба | K    | Ca           | Ti   | Mn   | Fe   | Ni   | Cu   | Zn   | As          | Rb   | Sr   | Zr   | Pb   | Th   |
|-------|------|--------------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|
| 1     | 0,94 | 1,59         | 0,72 | 0,55 | 1,00 | 1,10 | 1,07 | 2,03 | <b>4,43</b> | 1,46 | 0,66 | 0,58 | 1,82 | 0,90 |
| 2     | 1,57 | 3,18         | 0,90 | 0,36 | 1,00 | 0,87 | 1,42 | 1,77 | 1,01        | 1,76 | 1,27 | 0,74 | 2,66 | 1,21 |
| 3     | 0,00 | 0,00         | 0,00 | 0,38 | 1,00 | 1,01 | 0,66 | 0,92 | 1,35        | 0,68 | 1,34 | 1,24 | 0,89 | 1,62 |
| 4     | 0,94 | <b>9,37</b>  | 1,25 | 0,44 | 1,00 | 1,08 | 1,57 | 1,26 | 1,97        | 1,25 | 1,36 | 3,32 | 1,93 | 2,15 |
| 5     | 1,36 | 3,61         | 0,87 | 0,28 | 1,00 | 0,63 | 1,26 | 1,68 | 1,54        | 1,85 | 1,30 | 1,05 | 1,81 | 1,24 |
| 6     | 1,22 | 2,14         | 0,78 | 0,32 | 1,00 | 0,63 | 0,88 | 1,71 | 1,41        | 1,50 | 0,71 | 0,51 | 1,61 | 0,88 |
| 7     | 1,39 | 3,62         | 0,68 | 0,33 | 1,00 | 1,03 | 1,01 | 1,90 | 1,23        | 1,75 | 1,11 | 0,73 | 2,54 | 1,19 |
| 8     | 1,17 | <b>5,49</b>  | 0,81 | 0,32 | 1,00 | 0,87 | 0,79 | 1,89 | 1,55        | 1,21 | 1,17 | 0,69 | 1,57 | 0,78 |
| 9     | 0,41 | 0,53         | 0,68 | 0,33 | 1,00 | 0,48 | 0,75 | 1,34 | 1,13        | 0,50 | 0,45 | 0,34 | 0,87 | 0,26 |
| 10    | 1,28 | 3,77         | 0,96 | 0,31 | 1,00 | 0,84 | 1,29 | 1,68 | 1,67        | 1,81 | 1,26 | 1,03 | 2,19 | 1,30 |
| 11    | 0,78 | 0,78         | 0,70 | 0,28 | 1,00 | 0,47 | 0,79 | 2,60 | 1,75        | 1,00 | 0,44 | 0,47 | 1,59 | 0,57 |
| 12    | 1,30 | 1,64         | 1,07 | 0,38 | 1,00 | 0,87 | 0,99 | 2,09 | 1,38        | 1,84 | 0,73 | 0,59 | 1,78 | 0,88 |
| 13    | 1,09 | 1,32         | 0,52 | 0,35 | 1,00 | 0,59 | 1,03 | 1,84 | 2,61        | 1,34 | 0,60 | 0,51 | 1,91 | 0,60 |
| 14    | 0,78 | 0,92         | 0,85 | 0,32 | 1,00 | 0,56 | 0,91 | 2,93 | <b>6,81</b> | 1,09 | 0,41 | 0,86 | 2,44 | 0,61 |
| 15    | 0,59 | 0,30         | 0,76 | 0,31 | 1,00 | 0,48 | 0,79 | 1,36 | 1,40        | 0,68 | 0,40 | 0,64 | 1,27 | 0,46 |
| 16    | 1,15 | 1,95         | 0,88 | 0,36 | 1,00 | 0,82 | 1,07 | 2,10 | 2,53        | 1,42 | 0,84 | 0,63 | 2,10 | 0,84 |
| 17    | 1,16 | 3,09         | 0,63 | 0,38 | 1,00 | 0,85 | 1,03 | 1,77 | 1,64        | 1,41 | 1,13 | 0,69 | 1,53 | 0,90 |
| 18    | 0,98 | 1,67         | 0,91 | 0,32 | 1,00 | 0,89 | 1,16 | 2,64 | <b>6,03</b> | 1,56 | 0,50 | 0,85 | 2,52 | 0,91 |
| 19    | 1,07 | 3,93         | 0,88 | 0,30 | 1,00 | 0,86 | 1,19 | 2,12 | 3,28        | 1,45 | 0,72 | 1,08 | 2,33 | 0,99 |
| 20    | 1,24 | <b>5,13</b>  | 0,80 | 0,31 | 1,00 | 0,68 | 0,95 | 2,43 | 2,02        | 1,60 | 1,15 | 0,76 | 2,76 | 1,03 |
| 21    | 0,00 | 0,00         | 0,00 | 0,28 | 1,00 | 0,89 | 0,86 | 2,16 | <b>5,10</b> | 1,48 | 0,50 | 1,16 | 2,01 | 0,84 |
| 22    | 0,85 | 0,35         | 0,81 | 0,42 | 1,00 | 0,77 | 1,03 | 1,22 | 1,82        | 0,96 | 0,57 | 1,06 | 1,38 | 0,84 |
| 23    | 0,93 | 2,73         | 0,70 | 0,64 | 1,00 | 0,77 | 1,24 | 1,63 | 1,61        | 1,17 | 0,79 | 0,40 | 1,44 | 0,64 |
| 24    | 1,13 | 1,40         | 0,65 | 0,25 | 1,00 | 0,65 | 0,94 | 1,14 | 1,08        | 1,25 | 0,85 | 0,40 | 0,67 | 0,52 |
| 25    | 1,28 | 1,58         | 0,75 | 0,44 | 1,00 | 0,83 | 1,06 | 1,92 | 1,86        | 1,67 | 0,75 | 0,80 | 1,93 | 0,84 |
| 26    | 1,07 | 1,33         | 0,75 | 0,38 | 1,00 | 0,79 | 1,04 | 1,88 | 2,72        | 1,44 | 0,59 | 0,60 | 1,90 | 0,84 |
| 27    | 1,02 | 2,89         | 0,55 | 0,29 | 1,00 | 0,77 | 0,84 | 1,93 | 1,71        | 1,34 | 0,98 | 0,53 | 1,41 | 0,55 |
| 28    | 0,87 | 2,86         | 0,57 | 0,36 | 1,00 | 0,84 | 0,77 | 1,77 | <b>9,04</b> | 1,15 | 1,14 | 0,44 | 2,47 | 1,04 |
| 29    | 0,95 | 0,42         | 0,54 | 0,31 | 1,00 | 0,56 | 0,79 | 1,58 | 1,39        | 1,06 | 0,33 | 0,33 | 2,36 | 0,52 |
| 30    | 0,86 | 0,54         | 0,62 | 0,25 | 1,00 | 0,66 | 0,91 | 1,56 | 1,34        | 1,14 | 0,30 | 0,35 | 2,22 | 0,64 |
| 31    | 1,00 | <b>36,90</b> | 1,00 | 0,42 | 1,00 | 1,78 | 0,98 | 1,01 | 0,96        | 0,95 | 2,17 | 1,06 | 0,90 | 0,95 |
| 32    | 1,14 | 2,39         | 0,74 | 0,30 | 1,00 | 0,85 | 0,97 | 1,59 | 1,87        | 1,38 | 0,80 | 0,63 | 1,30 | 0,84 |
| 33    | 1,12 | 0,87         | 0,67 | 0,31 | 1,00 | 0,76 | 1,06 | 1,56 | 1,65        | 1,31 | 0,42 | 0,46 | 1,38 | 0,74 |
| 34    | 1,27 | <b>5,30</b>  | 0,86 | 0,48 | 1,00 | 0,99 | 1,18 | 1,91 | <b>5,76</b> | 2,07 | 0,88 | 0,72 | 2,03 | 0,87 |
| 35    | 0,72 | 0,99         | 0,66 | 0,31 | 1,00 | 0,78 | 1,07 | 1,21 | 1,55        | 0,79 | 0,46 | 0,49 | 1,18 | 0,45 |
| 36    | 1,10 | 0,63         | 0,86 | 0,41 | 1,00 | 0,84 | 0,72 | 1,41 | 3,54        | 1,49 | 0,39 | 0,72 | 2,76 | 0,74 |

**Рисунок 1. Динамика вариации коэффициента загрязнения**  
**Figure 1. Dynamics of pollution factor variation**

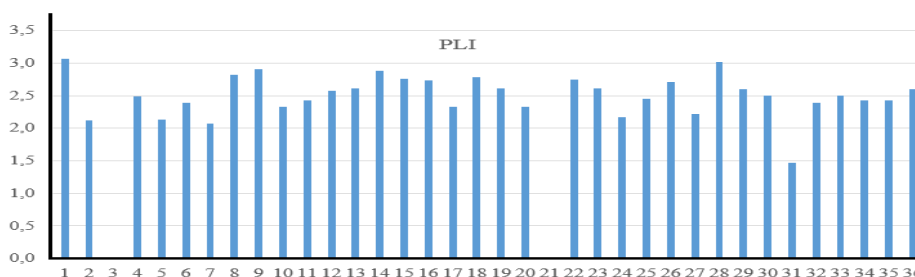


**Индекс загрязнения окружающей среды.** Индекс загрязнения окружающей среды (PLI), использовался для оценки степени загрязнения металлами каждого участка [25]:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n}$$

где CF – коэффициент загрязнения, рассчитанный, как описано в предыдущем уравнении, а n – количество изученных металлов. PLI предоставляет лишь относительные средства для оценки качества местности [27]. В общем, при (1)  $PLI < 1$  считается превосходным, при (2)  $PLI = 1$  считается, что присутствуют только контрольные уровни загрязняющих веществ, и при (3)  $PLI > 1$  считается ухудшением качества участка (рис.2).

**Рисунок 2. Динамика вариации индекса загрязнения окружающей среды**  
**Figure 2. Dynamics of variation in the environmental pollution index**



**Индекс геоаккумуляции.** Индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) широко используется при оценке загрязнения путем сравнения обнаруженных уровней тяжелых металлов с фоновыми уровнями, первоначально использовавшимися для донных отложений [28]. Его также можно использовать для оценки загрязнения дорожной пылью. Однако следующее уравнение, разработанное Мюллером [28], используется для вычисления значений  $I_{geo}$  для каждого изучаемого элемента:

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_n}{1.5B_n} \right]$$

где  $B_n$  – геохимическая фоновая концентрация тяжелого металла (нормаль земной коры), а  $C_n$  – расчетная концентрация тяжелого металла в почве. Однако постоянный коэффициент 1,5 используется для уменьшения влияния возможных различий в фоновых значениях, которые могут быть связаны с литологическими различиями в отложениях [19, 28]. Уровень индекса геоаккумуляции можно представить в виде следующей классификации:  $I_{geo} < 0$  - практически незагрязненный; 0–1 - от

незагрязненного до умеренно загрязненного; 1–2 - умеренно загрязненный; 2–3 - загрязнение от умеренного до сильного; 3–4 - очень загрязненный; 4–5 - сильно или чрезвычайно сильно загрязнено; и >5 - крайне сильно загрязнены.

**Таблица 3. Геохимический индекс загрязнения**  
**Table 3. Geochemical pollution index**

| No | K     | Ca    | Ti    | Mn    | Fe    | Ni    | Cu    | Zn    | As    | Rb   | Sr    | Zr    | Pb   | Th    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 1  | 0,60  | 1,36  | 0,23  | 1,10  | 0,69  | 0,83  | 0,79  | 1,72  | 2,84  | 1,31 | 0,26  | -0,01 | 1,65 | 0,63  |
| 2  | 0,69  | 1,71  | -0,10 | -0,16 | 0,05  | -0,15 | 0,55  | 0,87  | 0,06  | 0,94 | 0,55  | -0,32 | 1,54 | 0,41  |
| 3  | -     | -     | -     | 0,19  | 0,31  | 0,32  | -0,28 | 0,18  | 0,74  | -0,2 | 0,89  | 0,68  | 0,22 | 1,09  |
| 4  | -0,15 | 3,17  | 0,26  | 0,01  | -0,05 | 0,06  | 0,60  | 0,28  | 0,93  | 0,34 | 0,55  | 1,75  | 0,98 | 1,14  |
| 5  | 0,53  | 1,94  | -0,11 | -0,48 | 0,09  | -0,58 | 0,42  | 0,84  | 0,71  | 1,04 | 0,62  | 0,23  | 1,03 | 0,49  |
| 6  | 0,85  | 1,65  | 0,20  | 0,19  | 0,55  | -0,10 | 0,38  | 1,33  | 1,05  | 1,21 | 0,22  | -0,34 | 1,33 | 0,46  |
| 7  | 0,53  | 1,91  | -0,51 | -0,27 | 0,06  | 0,10  | 0,07  | 0,98  | 0,35  | 0,94 | 0,37  | -0,32 | 1,49 | 0,39  |
| 8  | 0,85  | 3,07  | 0,31  | 0,22  | 0,62  | 0,41  | 0,28  | 1,53  | 1,25  | 0,96 | 1,00  | 0,16  | 1,36 | 0,35  |
| 9  | 0,31  | 0,66  | 1,04  | 1,28  | 1,59  | 0,52  | 1,18  | 2,01  | 1,77  | 0,66 | 0,60  | 0,12  | 1,48 | -0,27 |
| 10 | 0,49  | 2,05  | 0,08  | -0,29 | 0,14  | -0,12 | 0,51  | 0,89  | 0,88  | 1,07 | 0,63  | 0,25  | 1,36 | 0,60  |
| 11 | 0,52  | 0,52  | 0,35  | 0,30  | 0,88  | -0,23 | 0,54  | 2,26  | 1,68  | 0,95 | -0,16 | -0,13 | 1,64 | 0,17  |
| 12 | 0,90  | 1,24  | 0,62  | 0,40  | 0,53  | 0,33  | 0,51  | 1,59  | 0,99  | 1,47 | 0,24  | -0,15 | 1,45 | 0,43  |
| 13 | 0,88  | 1,15  | -0,19 | 0,49  | 0,75  | 0,00  | 0,80  | 1,63  | 2,14  | 1,25 | 0,17  | -0,16 | 1,77 | 0,10  |
| 14 | 0,42  | 0,65  | 0,54  | 0,38  | 0,78  | -0,07 | 0,64  | 2,32  | 3,54  | 0,97 | -0,36 | 0,64  | 2,15 | 0,15  |
| 15 | 0,56  | -0,44 | 0,92  | 0,92  | 1,32  | 0,26  | 0,99  | 1,77  | 1,81  | 0,83 | 0,17  | 0,75  | 1,76 | 0,30  |
| 16 | 0,76  | 1,52  | 0,37  | 0,34  | 0,56  | 0,28  | 0,67  | 1,63  | 1,90  | 1,14 | 0,47  | -0,04 | 1,72 | 0,39  |
| 17 | 0,58  | 1,99  | -0,30 | 0,22  | 0,36  | 0,13  | 0,40  | 1,19  | 1,08  | 0,93 | 0,70  | -0,10 | 1,06 | 0,30  |
| 18 | 0,46  | 1,22  | 0,35  | 0,11  | 0,49  | 0,32  | 0,70  | 1,89  | 3,08  | 1,20 | -0,36 | 0,32  | 1,91 | 0,44  |
| 19 | 0,43  | 2,31  | 0,15  | -0,12 | 0,34  | 0,12  | 0,59  | 1,42  | 2,05  | 0,94 | 0,02  | 0,52  | 1,64 | 0,42  |
| 20 | 0,49  | 2,53  | -0,15 | -0,24 | 0,17  | -0,38 | 0,10  | 1,45  | 1,19  | 0,92 | 0,54  | -0,15 | 1,72 | 0,31  |
| 21 | -     | -     | -     | -0,18 | 0,40  | 0,22  | 0,18  | 1,51  | 2,75  | 1,04 | -0,45 | 0,68  | 1,50 | 0,24  |
| 22 | 0,72  | -0,59 | 0,63  | 0,96  | 0,94  | 0,56  | 0,99  | 1,23  | 1,80  | 0,96 | 0,28  | 1,10  | 1,50 | 0,77  |
| 23 | 0,54  | 2,09  | 0,14  | 1,26  | 0,65  | 0,27  | 0,96  | 1,35  | 1,33  | 0,95 | 0,47  | -0,59 | 1,26 | 0,08  |
| 24 | 0,93  | 1,23  | 0,12  | 0,04  | 0,74  | 0,13  | 0,65  | 0,94  | 0,85  | 1,14 | 0,67  | -0,49 | 0,25 | -0,12 |
| 25 | 0,78  | 1,09  | 0,00  | 0,50  | 0,43  | 0,16  | 0,52  | 1,37  | 1,32  | 1,24 | 0,17  | 0,18  | 1,47 | 0,27  |
| 26 | 0,77  | 1,08  | 0,25  | 0,53  | 0,67  | 0,33  | 0,72  | 1,58  | 2,11  | 1,27 | 0,08  | 0,00  | 1,68 | 0,50  |
| 27 | 0,50  | 2,00  | -0,38 | -0,06 | 0,47  | 0,10  | 0,22  | 1,42  | 1,24  | 0,97 | 0,60  | -0,36 | 1,06 | -0,31 |
| 28 | 0,44  | 2,16  | -0,17 | 0,43  | 0,64  | 0,40  | 0,25  | 1,47  | 3,82  | 0,92 | 0,99  | -0,46 | 2,04 | 0,79  |
| 29 | 1,05  | -0,13 | 0,22  | 0,71  | 1,12  | 0,29  | 0,78  | 1,78  | 1,60  | 1,28 | -0,33 | -0,40 | 2,45 | 0,26  |
| 30 | 0,80  | 0,12  | 0,33  | 0,28  | 1,01  | 0,42  | 0,88  | 1,66  | 1,44  | 1,27 | -0,58 | -0,44 | 2,25 | 0,47  |
| 31 | -0,58 | 4,62  | -0,58 | -0,58 | -0,58 | 0,25  | -0,61 | -0,57 | -0,64 | -0,6 | 0,69  | -0,43 | -0,7 | -0,57 |
| 32 | 0,70  | 1,76  | 0,07  | 0,05  | 0,51  | 0,27  | 0,45  | 1,18  | 1,40  | 1,04 | 0,34  | -0,10 | 0,98 | 0,34  |
| 33 | 0,98  | 0,61  | 0,24  | 0,37  | 0,82  | 0,42  | 0,90  | 1,46  | 1,54  | 1,28 | -0,28 | -0,24 | 1,37 | 0,47  |
| 34 | 0,44  | 2,50  | -0,13 | 0,31  | 0,09  | 0,07  | 0,32  | 1,02  | 2,62  | 1,21 | 0,07  | -0,31 | 1,20 | -0,03 |
| 35 | 0,47  | 0,93  | 0,33  | 0,52  | 0,93  | 0,58  | 1,03  | 1,21  | 1,57  | 0,67 | -0,02 | -0,03 | 1,27 | -0,14 |
| 36 | 0,83  | 0,03  | 0,47  | 0,68  | 0,69  | 0,44  | 0,21  | 1,18  | 2,51  | 1,34 | -0,53 | 0,29  | 2,24 | 0,34  |

Для определения элементного анализа проб почв использован рентгено - флуоресцентный анализатор Termo Niton XL\_3t.

**Ртуть.** Обнаружена ртуть с содержанием (табл.4) в пробах №12-10мг/кг, №16-8, №18-8,32, № 19-8.1, №22-8.36, №28-7.8, № 32-8.65, № 33-8.22, №35-9.76мг/кг при Кларке (0.083мг/кг) если учитывать, что ПДК ртути в почве 2,1мг/кг тогда выясняется, что в почве Колуч-Куль содержания ртути превышает ПДК от 3,7 до 4,76 раза и превышает общесанитарный показатель вредности (5 мг/кг) от 1.6 до 2 раза. Фоновое содержание валовых форм ртути составляет 0,05мг/кг. Высокое значение ртути приводит к нарушению краткосрочной памяти, нарушению координации, приводит к воздействию на нервную систему.

Из 36 изученных проб только в пробе № 21(Ак-Архара) обнаружен барий только в пробе почвы Ак-Архара (№11) с содержанием 389.35мг/кг, что ниже его Кларка в почве (650мг/кг) [29].

**Селен.** В почве Колуч-Кул (№22) - обнаружен селен с концентрацией 3.43мг/кг, что значительно (69 раз) превышает его Кларк в почве (0.05мг/кг). Селен относится к первому классу опасных элементов и его источником является энергетическая отрасль.

**Молибден.** Содержание молибдена обнаружено в трёх пробах: пробе почв Шпад (р. Пяндж) №4-10мг/кг, в пробе Ак-Архара (АА) №9-12мг/кг, и №15-5мг/кг при Кларке (1,1мг/кг). Его содержание в почве превышает Кларк от 5 до 10 раз. Источником молибдена являются выбросы, связанные с сжиганием угля.

**Скандий.** В четырех пробах почв горного региона обнаружен скандий и установлено, что значение Sc превышает его Кларка для проб Колуч-Кул №32 - 5.9 раза, №33-5.6, в почве Ак-Архара №34-9.0 и № 35-5.9 раза. Кларк Sc в почве составляет 10мг/кг [29].

**Сера.** Из 36 проб горного региона в пяти пробах обнаружена сера: АА № 11-1230мг/кг, в КК № 24-1052мг/кг, № 31-879, №32-486, в АА № 34-404.6 мг/кг, значение Кларка для S составляет 470мг/кг и ПДК в почве -160мг/кг. В почве Ак-Архара содержание серы превышает ПДК 7.68 раза, 6.6 раза в почве Колуч-куле, 5.5 раза в почве Язгуляме, 2.5 раза в почве Ак-Архара [29].

**Кобальт.** Обнаружен кобальт в пробе Рушана №5-118мг/кг, в пробе Ак-Архара №11-215мг/кг, №15-374 мг/кг и №35-264мг/кг, в пробах почв Колуч-Кула №13-200 мг/кг, №16-181 мг/кг и №32-165мг/кг, при Кларке в почве (8мг/кг) и ПДК-5мг/кг [29]. Установлено, что содержание кобальта в вышеперечисленных пробах превышает ПДК от 24 до 75 раз. Источником кобальта является цветная и черная металлургия. Общесанитарный показатель вредности кобальта - 5мг/кг. Показателем уровня загрязнения земель (от 50 до 150 ПДК) по кобальту можно отнести к 3-му уровню, то есть среднему.

**Ванадий.** В восьми пробах из 36 обнаружено ванадий: в пробах Ак-Архара №11-158 мг/кг, в пробах Колуч - Куля №24-184мг/кг, №32-151 мг/кг, №33-169мг/кг превышает Кларк (К=100мг/кг) и ПДК-120мг/кг а для проб почв Язгуляма №31-58, Ак-Архара №34-90 и №35-59мг/кг они ниже [29]. Общесанитарный показатель вредности составляет 150мг/кг. Уровень загрязнения земель ванадием расположен на втором (от ПДК до 225) считается низким показателем. Высокое значение ванадия приводит к таким болезням как астма, нервные расстройства, раздражения дыхательных путей и изменение формулы крови.

**Хром.** Из 36 пробах хром обнаружен в девяти пробах: в пробах Ак-Архара (АА) №11-95 мг/кг, №34-50 мг/кг, №35-85 мг/кг, и № 36-80мг/кг и пробах Колуч-Куля (КК) №24-83 мг/кг, №29-144,95 мг/кг, №31-22,13 мг/кг, №32-80 мг/кг, №33-104 мг/кг, при Кларк (83мг/кг) и ПДК(6мг/кг) [29]. Содержание хрома в этих районах превышает ПДК от 3.7 до 24 раза. Обще- санитарный показатель вредности (6мг/кг). Источником хрома



являются выбросы при сжигании угля. Высокое содержание хрома приводит к раку легких, дерматиту и к злокачественным образованиям желудочно-кишечного тракта.

**Уран.** В девяти пробах из 36 обнаружен уран: пробы отобранные в Шпад (р. Пяндж) №4-2.36мг/кг, в пробах почв Колуч-Куля №22-8.65 мг/кг, №23-10.05 мг/кг, №25-7.3 мг/кг, №26-23.28 мг/кг, №28 - 8.99 мг/кг и №29-7.76 мг/кг, в пробах почв Язгуляма №31 - 5.62 мг/кг, №32 - 8.52 мг/кг. Так как Кларк урана в почве 2.5мг/кг. Содержание урана превышает его Кларк в приведенных почвах от 2,24 до 9.3 раза за исключением пробы №4.

У всех 36 проб почв обнаружены элементы: К, Са, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Pb и Th. Статистические характеристики проб почв горного региона приведены в таблице 4.

**Таблица 4. Статистические характеристики проб почв горного региона**  
**Table 4. Statistical characteristics of soil samples in the mountainous region**

|    | Кларк | ПДК   | <C>   | C <sub>max</sub> | C <sub>min</sub> | N  | σ      | δ    | V    | S <sub>n</sub> |
|----|-------|-------|-------|------------------|------------------|----|--------|------|------|----------------|
| К  | 25000 | -     | 28990 | <b>39195</b>     | 12585            | 34 | 8809   | 518  | 0,30 | 0,02           |
| As | 1,7   | 2     | 34    | <b>127</b>       | 6                | 36 | 60,06  | 3,34 | 1,79 | 0,10           |
| Ca | 29600 | -     | 30019 | <b>196038</b>    | 5312             | 34 | 33580  | 1975 | 1,12 | 0,07           |
| Cu | 47    | 55    | 49    | <b>75</b>        | 22               | 36 | 11,4   | 0,63 | 0,23 | 0,01           |
| Fe | 46500 | 38000 | 37806 | <b>74771</b>     | 16563            | 36 | 10975  | 610  | 0,29 | 0,02           |
| Mn | 1000  | 1500  | 935   | <b>1761</b>      | 486              | 36 | 311    | 17   | 0,33 | 0,02           |
| Ni | 58    | 85    | 89    | <b>136</b>       | 51               | 36 | 16     | 0,91 | 0,18 | 0,01           |
| Pb | 16    | 32    | 30    | <b>57</b>        | 7                | 36 | 10,39  | 0,58 | 0,34 | 0,02           |
| Rb | 150   | -     | 145   | <b>200</b>       | 48               | 36 | 0,05   | 0,05 | 0,05 | 0,05           |
| Sr | 340   | 300   | 153   | <b>246</b>       | 82               | 36 | 43,36  | 2,41 | 0,28 | 0,02           |
| Ti | 4500  | 500   | 14    | <b>23</b>        | 7                | 36 | 3,32   | 0,18 | 0,25 | 0,01           |
| Zn | 83    | 23    | 104   | <b>195</b>       | 26               | 36 | 34,44  | 1,91 | 0,33 | 0,02           |
| Th | 13    | -     | 14    | <b>23</b>        | 7                | 36 | 3,32   | 0,18 | 0,25 | 0,01           |
| Zr | 170   | -     | 273   | <b>823</b>       | 163              | 36 | 122,65 | 6,81 | 0,45 | 0,02           |

**Железо.** Среди анализируемых элементов железо (Fe) является вторым наиболее доступным металлом в природе. Концентрация Fe в пробах почвы варьировала от 16563 до 74771мг/кг при среднем значении 37806мг/кг (табл.4). Среднее значение было выше фоновой концентрации (19 100мг/кг), установленной СЕРА [5], но ниже значения верхней континентальной коры (35 000мг/кг) [29]. Тем не менее, самая низкая концентрация железа (Fe) обнаружена в 16563мг/кг в Язгуляме №31. Статистический анализ показал, что концентрация Fe в почве 37806±610мг/кг отличается друг от друга, что свидетельствует об однородном распределении. Поэтому было высказано предположение, что источники Fe в районе исследований в основном естественные.

**Медь.** Предлагаемый защищенный и достаточный прием Cu с пищей составляет 1,5–3,0мг/день для взрослых, 0,7–2,5мг/день для детей и подростков и 0,4–0,7мг /день для младенцев [31]. Это исследование показало, что Ак-Архар был единственным участком с более высокой концентрацией (74,77мг/кг) меди в образцах почвы. Самая низкая концентрация меди в образце почвы была обнаружена в Язгуляме №31 (21,58мг/кг). Это исследование показало, что средняя концентрация ионов Cu в пробах почвы составила 49,23 ± 0,63мг/кг. Отмечено, что средняя концентрация в пробе почвы была выше фоновой (22мг/кг) концентрации и верхней континентальной коры (25мг/кг) значения [30]. Также было замечено, что для значения относительного стандартного

отклонения 0,63 коэффициент вариации составляет 0,23. Стоит отметить, что основным техногенным источником меди являются цветная и черная металлургия, нефтяная промышленность, Cu используется в шинах автомобилей [32] и в плавильных печах [32].

**Калий.** Это исследование показало, что средний уровень калия (K) в образцах почвы (28990мг/кг) оказался выше фонового значения 12585мг/кг. Самое высокое содержание калия было обнаружено в образце почвы КК №29 (196038мг/кг), что в 16 раз выше, чем на контрольном участке. На остальных участках концентрации калия намного выше; что указывает на то, что почва поглощает большое количество калия из-за некоторой антропогенной деятельности. Среднее значение  $28990 \pm 518$  мг/кг. (Таблица 4). Однако значение коэффициента вариации для K в образцах почвы в районе исследования были низкими (30%), что свидетельствует о том, что источники K в образцах почвы были в основном естественными, а не антропогенными.

**Кальций.** Было замечено, что средняя концентрация кальция (Ca) (30019мг/кг) в образцах почвы была близка к фоновому значению почвы (29 400мг/кг), установленному СЕРА [5], и к верхней континентальной коре (30 000мг/кг). [30]. Тем не менее, почва Язгуляма показала самую высокую концентрацию Ca (196038,5 мг/кг), тогда как почва Колуч-куля №31 имела самую низкую концентрацию (5312мг/кг). Среднее значение Ca в образцах почвы  $30019 \pm 1975$  мг/кг (таблица 4). Однако значение коэффициента вариации для Ca в образцах почвы и были очень высокими - 112%, что указывает на то, что Ca мог попасть в образцы почвы в районе исследования из-за антропогенной деятельности (таблица 2).

**Титан.** Содержание титана (Ti) в образцах почвы варьировало от 3019 до 9282 мг/кг при среднем значении  $5240 \pm 109$  мг/кг (таблица 4), что выше фонового значения почвы [19], но близко к значению верхней континентальной коры [29,33]. С другой стороны, значение среднеквадратичного отклонения для Ti в образцах почвы в районе исследования были 1851,72 мг/кг. Впоследствии коэффициент вариации Ti составил 0.35. Поэтому предполагается, что источники Ti в образцах почвы в районе исследований могли быть в основном естественными.

**Стронций.** Стронций (Sr) постоянно присутствует в воздухе в виде пыли, до определенного уровня, и его концентрация в воздухе увеличивается в результате деятельности человека, например, при сжигании угля и нефти [36]. В любом случае, среднее значение содержания стронция (Sr) в образцах почвы для данного исследования составило  $153 \pm 43$  (таблица 4). Это исследование также показало, что средний уровень Sr в образцах почвы в большинстве точек отбора проб был несколько ниже, чем уровень стронция в почве Ак-Архар (246мг/кг) (таблица 2). Средний уровень Sr в почве был несколько ниже почвенного фонового значения (232,9 мг/кг) СЕРА [5], и значения верхней континентальной коры (350 мг/кг) [30]. Для средних значений по экспериментальным данным выявлено, что концентрация Sr в разных точках отбора проб статистически не отличалась от среднего значения на исследуемой территории при доверительной вероятности 95 %, поэтому высказано предположение, что существующий уровень стронция может быть связан в основном с природными источниками, а не с антропогенными источниками. Это исследование также показало, что средняя концентрация Sr в районе исследования была намного ниже литературных значений [37]. В [37] измерили концентрации Sr в разноразмерных фракциях проб пыли и обнаружили, что концентрация Sr в разных городах достигала самых высоких концентраций Sr 1000мг/кг, что в четыре раза превышало наши максимальные данные (табл. 3).

## Заклучение

Образцы почвы были собраны в тридцати шести точках горного региона Таджикистана. Всего собрано 36 проб. Методом РФА анализировали концентрацию элементов S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, W, Au, Hg, U, Th, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Pb и Ba в образцах почвы. В пробах почв горного региона не обнаружены Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te и Cs. Результаты для средней концентрации показали, что контрольный участок имеет самую низкую общую концентрацию металлов в образцах почвы. Все металлы имели более высокие концентрации, чем их фоновое значение. Из 36 проб, отобранных в горном регионе установлено, что K, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Pb и Th имеет фоновое значение в пробах почв Язгуляма. В почвах Колуч-Куля обнаружено фоновое значение Ca, Sr и Zn. В почвах Пянджа обнаружено фоновое значение Ni. Максимальные значения Ti, Mn, Fe, Sr и Zn установлены в почвах Ак-Архара. Максимальное значение концентрации Ca обнаружено в почвах Язгуляма. Максимальное значение концентрации Rb, Ni, As и Pb обнаружено в почвах Колуч-Куля. Максимальное значение концентрации Th в почвах Рушана, а Zr в почвах Шпада. Канцерогенного риска для здоровья обнаружено не было. Тем не менее, необходим периодический мониторинг для оценки неракового и онкологического риска для детей и взрослых из-за потребления тяжелых металлов и токсичных металлов, влияющих на различные органы в организме человека.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Caravanos, J. A survey of spatially distributed exterior dust lead loadings in New York City/ J. Caravanos, L.A. Weiss, M.J. Blaise, R.J. Jaeger // *Environ. Res.* - 2006. - V.100. - Pp.165–172.
2. CEPA, Chinese environmental protection administration, *Elemental Background Values of Soils in China, 1990*, Environmental Science Press of China, Beijing, 1990.
3. Chen, H. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China/ H. Chen, Y. Teng, S. Lu, Y. Wang, J. Wang // *Sci. Total Environ.* – 2015. – Pp.512-513.
4. Curie, L. Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities / L. Curie//*Pure Appl. Chem.* - 1995.- V.67(10). – Pp.1699-1723.
5. Biswas, S.K. Impact of unleaded gasoline introduction on the concentration of lead in the air of Dhaka, Bangladesh / S.K. Biswas, S.A. Tarafdar, A. Islam, M. Khaliquzzaman // *J. Air Waste Manage. Assoc.* – 2003.- V.53. - Pp.1355–1362.
6. Bodrud-Doza, M. Delineation of trace metals contamination in groundwater using geostatistical techniques: a study on Dhaka City of Bangladesh /M. Bodrud-Doza, M.I. Muhib, M.S. Rahman, M.A.H. Bhuiyan, M.A. Rakib, S.B. Quraishi, S.M.D. Islam //*Groundw. Sustain. Dev.* - 2019. - V.9. - 100212.
7. BRTA, Bangladesh road transport authority, *Air pollution in Bangladesh. BRTA associated with greater Dhaka metropolitan area integrated transport study, working paper.* – 2016. – No. 23,
8. Dantu, S. Heavy metals concentration in soils of southeastern part of Ranga Reddy district, Andhra Pradesh, India / S. Dantu // *Environ. Monit. Assess.* – 2009. – V.149. – Pp. 213-222.
9. Davies, D.J.A. Lead intake and blood lead in two year old UK urban children / D.J.A. Davies, I. Thornton, J. Watt, E.B. Culbard, P.G. Harvey, H.T. Delves, J.C. Sherlock, G.A. Smart, J.F.A. Thomas, M.J. Quinn//*Sci. Total Environ.* – 1990. – V.90. – Pp.13-29.
10. Aksu, Z. A comparative study of copper(II) biosorption on Caalginate, agarose and immobilized *C. vulgaris* in a packed-bed column, / Z. Aksu, G. Eğretli, T. Kutsal // *Process Biochem.* – 1998- V.33(4). – Pp.393-400.
11. Miguel, E. De. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead/ E. De Miguel, J.F. Llamas, E. Chacón, T. Berg, S. Larssen, O. Røyset, M. Vadset // *Atmos. Environ.* - 1997. - V.31.-Pp. 2733-2740.
12. Miguel, E. De. Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain) /E. De Miguel, I. Iribarren, E. Chacón, A. Ordoñez, S. Charlesworth // *Chemosphere.* – 2007. – V.66 (3). - Pp.505–513.
13. Duzgoren-Aydin, N.S. Sources and characteristics of lead pollution in the urban environment of Guangzhou/ N.S. Duzgoren-Aydin // *Sci. Total Environ.* - 2007. - V. 385. - Pp.182–195.
14. Ferguson, J.E. Trace elements in street and house dusts source and speciation/ J.E. Ferguson, N. Kim // *Sci. Total Environ.* - 1991 - V.100. - Pp.125–150.
15. Ferreira-Baptista, L. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment / L. Ferreira-Baptista, E. De Miguel // *Atmos. Environ.* - 2005.- V.39. - Pp.4501–4512.

16. Hakanson, L. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sediment logical approach / L. Hakanson // *Water Res.* – 1980. – V.14 (5). – Pp. 975-1001.
17. Hassaniien, M. Environmental Heavy Metals and Mental Disorders of Children in Developing Countries / M. Hassaniien, A. El-Shahawy // 1970 [https:// doi.org/ 10.1007/978-94-007-0253-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0253-0_1).
18. Hjortenkrans, D.S.T. Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005 / D.S.T. Hjortenkrans, B.G. Bergback, A.V. Haggerud // *Environ. Sci. Technol.* – 2007. – V.41. – Pp.5224-5230.
19. 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 // *Bulletin of TNU. Natural Sciences Series.* - 2016. - No. 1/1 (192). - P. 142-146.
20. 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.
21. Декларация по окружающей среде и развитию. – Конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 14 июня 1992 года.
22. Khalifaeva Sh.Kh. Statistical analysis of heavy metals in the dust of Dushanbe and Aivadzha /Sh.Kh. Khalifaeva, S.F. Abdullaev, D.S. Shermatov, V.A. Maslov // *Bulletin of TNU. Natural Sciences Series.* - 2023. - No. 1. - Pp. 133-148.
23. Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geo-accumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination/ M. Barbieri // *J. Geol. Geophys.*- 2016.- V.5. - Pp.237.
24. Taylor, S.R. The Continental Crust: Its Composition and Evolution / S.R. Taylor, S.M. McLennan //Blackwell Scientific Publications, Oxford. - 1985.
25. Soltani, N. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclicaromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran/ N. Soltani, B. Keshavarzi, F. Moore // *Sci. Total Environ.* - 2015.- V.505. - Pp.712–723.
26. Mmolawa, K.B. Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana, / K.B. Mmolawa, A.S. Likuku, G.K. Gaboutloeloe // *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* – 2011 –V. 5 (3) – Pp.186-196.
27. Tomlinson, D.L. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index / D.L. Tomlinson, J.G. Wilson, C.R. Harris, D.W. Jeffrey// *Helgoländer Meeresuntersuchungen.* - 1980 - V.33(1–4). - Pp. 566-575.
28. Addo, M.A. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-South District, Ghanam/ M.A. Addo, E.O. Darko, C. Gordon, B.J.B. Nyarko, J.K. Gbadago // *Int. J. Sci. Technol.* - 2012. -V.2 (1). - Pp. 2224–3577.
29. Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River / G. Muller // *Geojournal.* - 1969. - V.2. - Pp.108–118.
30. Hygienic standards "Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemicals in soil". Federal Law of March 30, 1999 No. 52-FZ "On the sanitary and epidemiological well-being of the population." Collection of Legislation of the Russian Federation. – 2005 - No. 39.- Art. 3953.
31. Taylor, S.R. The geochemical evolution of the continental crust/ S.R. Taylor, S.M. McLennan // *Rev. Geophys.* - 1995. - V. 33. - Pp. 241-265.
32. USAF, United States air Force. Copper. In: the installation program toxicology guide, Wright-Patterson air Force Base Ohio. - 1990. - V. 5. - Pp.1–43.
33. Xia, L.L. Characterization of trace elements in PM2.5 aerosols in the vicinity of highways in Northeast New Jersey in the U.S. east coast / L.L. Xia, Y. Gao, // *Atmos. Pollut. Res.* - 2011. - V.2. -Pp.34-44.
34. Yang, F.M. Characteristics and sources of trace elements in ambient PM2.5 in Beijing / F.M. Yang, K.B. He, Y.L. Ma, X. Chen, S.H. Cadle, T. Chan, P.A. Mulawa, // *Environ. Sci.* – 2003.- V.24. - Pp.33-37.
35. Islam, A.R.M.T. Sources of trace elements identification in drinking water of Rangpur district, Bangladesh and their potential health risk following multivariate techniques and Monte-Carlo simulation, *Groundw.* / A.R.M.T. Islam, M. Bodrud-Doza, M.S. Rahman, S.B. Amin, R. Chu, H.A. Mamun // *Sustain. Dev.* - 2020. - V.9.-100275, [https://doi.org/ 10.1016 /j. gsd. 2019. 100275](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100275).
36. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services, Public Health Service, Public Health Statement, Strontium, CAS. -2004. – No.7440-24-6.
37. Widory D. Isotopes as tracers of sources of lead and strontium in aerosols (TSP & PM2.5) in Beijing/ D. Widory, X. Liu, S. Dong // *Atmos. Environ.* – 2010. - V.44.- Pp. 368-379.

#### REFERENCES

1. Caravanos, J. A survey of spatially distributed exterior dust lead loadings in New York City/ J. Caravanos, L.A. Weiss, M.J. Blaise, R.J. Jaeger // *Environ. Res.* - 2006. - V.100. - Pp.165–172.
2. CEPA, Chinese environmental protection administration, Elemental Background Values of Soils in China, 1990, Environmental Science Press of China, Beijing, 1990.

3. Chen, H. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China/ H. Chen, Y. Teng, S. Lu, Y. Wang, J. Wang // *Sci. Total Environ.* - 2015. – Pp.512-513.
4. Curie, L. Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities / L. Curie//*Pure Appl. Chem.* - 1995.- V.67(10). - Pp.1699-1723.
5. Biswas, S.K. Impact of unleaded gasoline introduction on the concentration of lead in the air of Dhaka, Bangladesh / S.K. Biswas, S.A. Tarafdar, A. Islam, M. Khaliquzzaman // *J. Air Waste Manage. Assoc.* – 2003.- V.53. - Pp.1355–1362.
6. Bodrud-Doza, M. Delineation of trace metals contamination in groundwater using geostatistical techniques: a study on Dhaka City of Bangladesh / M. Bodrud-Doza, M.I. Muhib, M.S. Rahman, M.A.H. Bhuiyan, M.A. Rakib, S.B. Quraishi, S.M.D. Islam // *Groundw. Sustain. Dev.* - 2019. - V.9. - 100212.
7. BRTA, Bangladesh road transport authority, Air pollution in Bangladesh. BRTA associated with greater Dhaka metropolitan area integrated transport study, working paper - 2016. - No. 23,
8. Dantu, S. Heavy metals concentration in soils of southeastern part of Ranga Reddy district, Andhra Pradesh, India / S. Dantu // *Environ. Monit. Assess.* - 2009. - V.149. - Pp. 213–222.
9. Davies, D.J.A. Lead intake and blood lead in two year old UK urban children / D.J.A. Davies, I. Thornton, J. Watt, E.B. Culbard, P.G. Harvey, H.T. Delves, J.C. Sherlock, G.A. Smart, J.F.A. Thomas, M.J. Quinn//*Sci. Total Environ.* – 1990. - V.90. - Pp.13–29.
10. Aksu, Z. A comparative study of copper(II) biosorption on Caalginate, agarose and immobilized *C. vulgaris* in a packed-bed column / Z. Aksu, G. Eđretli, T. Kutsal // *Process Biochem.* – 1998- V.33(4). – Pp.393–400.
11. Miguel, E. De. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead/ E. De Miguel, J.F. Llamas, E. Chacón, T. Berg, S. Larssen, O. Røyset, M. Vadset // *Atmos. Environ.* - 1997. - V.31.-Pp. 2733–2740.
12. Miguel, E. De. Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain) /E. De Miguel, I. Iribarren, E. Chacón, A. Ordoñez, S. Charlesworth // *Chemosphere.* – 2007. – V.66 (3). - Pp.505–513.
13. Duzgoren-Aydin, N.S. Sources and characteristics of lead pollution in the urban environment of Guangzhou/ N.S. Duzgoren-Aydin // *Sci. Total Environ.* - 2007. - V. 385. - Pp.182-195.
14. Ferguson, J.E. Trace elements in street and house dusts source and speciation/ J.E. Ferguson, N. Kim // *Sci. Total Environ.* - 1991 - V.100. - Pp.125–150.
15. Ferreira-Baptista, L. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment / L. Ferreira-Baptista, E. De Miguel // *Atmos. Environ.* - 2005.- V.39. - Pp.4501-4512.
16. Hakanson, L. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sediment logical approach / L. Hakanson // *Water Res.* – 1980. – V.14 (5). - Pp. 975–1001.
17. Hassanien, M. Environmental Heavy Metals and Mental Disorders of Children in Developing Countries / M. Hassanien, A. El-Shahawy // 1970 [https:// doi.org/ 10.1007/978-94-007-0253-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0253-0_1).
18. Hjortenkrans, D.S.T. Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005 / D.S.T. Hjortenkrans, B.G. Bergback, A.V. Haggerud // *Environ. Sci. Technol.* – 2007. – V.41. - Pp.5224-5230.
19. 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 // *Bulletin of TNU. Natural Sciences Series.* - 2016. - No. 1/1 (192). - P. 142-146.
20. 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.
21. Declaration on Environment and Development. - United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, June 14, 1992.
22. Khalifaeva Sh.Kh. Statistical analysis of heavy metals in the dust of Dushanbe and Aivadzha /Sh.Kh. Khalifaeva, S.F. Abdullaev, D.S. Shermatov, V.A. Maslov // *Bulletin of TNU. Natural Sciences Series.* - 2023. - No. 1. - Pp. 133-148.
23. Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geo-accumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination/ M. Barbieri // *J. Geol. Geophys.*- 2016.- V.5. - Pp.237.
24. Taylor, S.R. The Continental Crust: Its Composition and Evolution / S.R. Taylor, S.M. McLennan // *Blackwell Scientific Publications, Oxford.* - 1985.
25. Soltani, N. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclicaromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran/ N. Soltani, B. Keshavarzi, F. Moore // *Sci. Total Environ.* - 2015.- V.505. - Pp.712–723.
26. Mmolawa, K.B. Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana / K.B. Mmolawa, A.S. Likuku, G.K. Gaboutloeloe // *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* – 2011 –V. 5 (3) – Pp.186-196.

27. Tomlinson, D.L. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index / D.L. Tomlinson, J.G. Wilson, C.R. Harris, D.W. Jeffrey// *Helgoländer Meeresuntersuchungen*. - 1980 - V.33(1-4). - Pp. 566-575.
28. Addo, M.A. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-South District, Ghanam/ M.A. Addo, E.O. Darko, C. Gordon, B.J.B. Nyarko, J.K. Gbadago // *Int. J. Sci. Technol.* - 2012. -V.2 (1). - Pp. 2224-3577.
29. Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River / G. Muller // *Geojournal*. - 1969. - V.2. - Pp.108-118.
30. Hygienic standards "Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemicals in soil". Federal Law of March 30, 1999 No. 52-FZ "On the sanitary and epidemiological well-being of the population." Collection of Legislation of the Russian Federation. – 2005 - No. 39.- Art. 3953.
31. Taylor, S.R. The geochemical evolution of the continental crust/ S.R. Taylor, S.M. Mclennan // *Rev. Geophys.* - 1995. - V. 33. - Pp. 241-265.
32. USAF, United States air Force. Copper. In: the installation program toxicology guide, Wright-Patterson air Force Base Ohio. - 1990. - V. 5. - Pp.1-43.
33. Xia, L.L. Characterization of trace elements in PM2.5 aerosols in the vicinity of highways in Northeast New Jersey in the U.S. east coast / L.L. Xia, Y. Gao, // *Atmos. Pollut. Res.* - 2011. - V.2. -Pp.34-44.
34. Yang, F.M. Characteristics and sources of trace elements in ambient PM2.5 in Beijing / F.M. Yang, K.B. He, Y.L. Ma, X. Chen, S.H. Cadle, T. Chan, P.A. Mulawa, // *Environ. Sci.* – 2003.- V.24. - Pp.33-37.
35. Islam, A.R.M.T. Sources of trace elements identification in drinking water of Rangpur district, Bangladesh and their potential health risk following multivariate techniques and Monte-Carlo simulation, *Groundw.* / A.R.M.T. Islam, M. Bodrud-Doza, M.S. Rahman, S.B. Amin, R. Chu, H.A. Mamun // *Sustain. Dev.* - 2020. - V.9.-100275, [https://doi.org/ 10.1016/j. gsd. 2019. 100275](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100275).
36. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services, Public Health Service, Public Health Statement, Strontium, CAS. -2004. – No.7440-24-6.
37. Widory D. Isotopes as tracers of sources of lead and strontium in aerosols (TSP & PM2.5) in Beijing/ D. Widory, X. Liu, S. Dong // *Atmos. Environ.* – 2010. - V.44.- Pp. 368-379.

#### **ТАРКИБИ УНСУРИИ ХОКҲОИ МИНТАҚАИ КЌҲИСТОНИ ТОЧИКИСТОН**

Дар мақола натиҷаҳои таҳлили элементҳои намунаҳои хоки минтақаи кўҳистони Тоҷикистон бо истифода аз анализатори рентгенӣ-флуоресцентии Termo Niton XL\_3t оварда шудааст. Ҳамагӣ 36 намуна ҷамъоварӣ карда шуд. Концентрасияи элементҳо (S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, W, Au, Hg, U, Th, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Pb ва Ba) дар намунаҳои хок омӯхта шуд. Дар намунаҳои хоки минтақаи кўҳистонӣ Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te ва Cs пайдо нашуд. Концентрасияи миёнаи металлҳо дар намунаҳои хок бо тартиби зерин ҷойгиранд: Fe (37806мг/кг) > Ca (30019) > K (28990) > Ni (5240) > Mn (935) > Zr (273) > Sr (153) > Rb(145) > Zn(104) > Ni(89) > Cu(49) > As(34) > Pb(30) > Th(14мг/кг). Концентрасияи миёнаи сурма (34мг/кг) дар хок аз қимати заминавӣ қариб 6 маротиба зиёд мебошад. Концентрасияи Pb (6,71мг/кг) ва Zn (7мг/кг) дар намунаи хоки Язғулом нисбат ба дигар минтақаҳо хеле паст мебошад. Аз мушоҳидаҳо маълум гардид, ки концентрасияи миёнаи аксарии металлҳо аз қимати заминавии муқарраркардаи Маъмурияти Ҳифзи Мухити Зистии Чин (СЕРА) баландтар мебошад, ба истиснои K ва Zr. Дар минтақаи тадқиқот ягон хатари ҷиддии кансерогенӣ ба саломатӣ муайян карда нашудааст. Сарчашмаҳои эҳтимоли ва тағирёбии элементҳо дар хоки минтақаи кўҳистонӣ баррасӣ шудаанд.

**Калидвожаҳо:** хоки минтақаи кўҳсор, концентрасияи максималии иҷозатшаванда, таркиби элементҳо, усули таҳлили рентгении флуоресцентӣ, Кларк, меъёри умумии санитарӣ, манбаҳои металлҳои вазнин, муҳити зист.

#### **ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ГОРНОГО РЕГИОНА ТАДЖИКИСТАНА**

В статье приведены результаты элементного анализа проб почв горного региона Таджикистана с использованием рентгено - флуоресцентного анализатора Termo Niton XL\_3t. Всего собрано 36 проб. Методом РФА анализировали концентрацию элементов (S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, W, Au, Hg, U, Th, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Pb и Ba) в образцах почвы. В пробах почв горного региона не обнаружены Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te и Cs. Средняя концентрация металлов в пробах почвы шла в следующем порядке: Fe (37806мг/кг) > Ca (30019) > K(28990) > Ni(5240) > Mn(935) > Zr(273) > Sr(153) > Rb(145) > Zn(104) > Ni(89) > Cu(49) > As(34) > Pb(30) > Th(14 мг/кг). Как и ожидалось, наибольшая концентрация элементов на контрольном участке, расположенном в деревне и на расстоянии ~1 км от дороги, была ниже, чем в пробах почвы. Средняя концентрация мышьяка (34мг/кг) в почве почти 6 раз превышала фоновое значение. Концентрация Pb (6,71мг/кг) и Zn (7 мг/кг) в пробе Язгуляма была значительно ниже, чем на других участках. Мы заметили, что средняя концентрация для большинства металлов была выше, чем фоновые значения, установленные Управлением по охране окружающей среды

Китая (СЕРА), за исключением К и Zr. Уровни загрязнения тяжелыми металлами оценивались на основе индекса геоаккумуляции (Igeo), коэффициента обогащения (EF) и коэффициента загрязнения (CF). Значимого канцерогенного риска для здоровья на исследуемой территории не выявлено. *Обсуждаются возможные источники и вариация элементов в почве горного региона.*

**Ключевые слова:** Почва горного региона, предельно допустимая концентрация, элементный состав, метод рентгенофлуоресцентного анализа, Кларк, общесанитарная норма, источники тяжелых металлов, окружающая среда.

#### ELEMENTAL COMPOSITION OF SOILS IN THE MOUNTAIN REGION OF TAJIKISTAN

The article presents the results of elemental analysis of soil samples in the mountainous region of Tajikistan using X-ray - fluorescent analyzer Termo Niton XL\_3t. A total of 36 samples were collected. The concentration of elements (S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, W, Au, Hg, U, Th, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Pb and Ba) was studied in soil samples. Were don't found Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, and Cs in soil samples from the mountainous region. The average concentration of metals in soil samples was in the following order: Fe (37806 mg/m<sup>3</sup>) > Ca (30019) > K(28990) > Ni(5240) > Mn(935) > Zr(273) > Sr(153) > Rb( 145) > Zn(104) > Ni(89) > Cu(49) > As(34) > Pb(30) > Th(14 mg/m<sup>3</sup>). The average concentration of arsenic (34 mg/kg) in the soil was almost 6 times higher than the background value. The concentration of Pb (6.71 mg/kg) and Zn (7 mg/kg) in the Yazgulyam sample was significantly lower than in other areas. We observed that the average concentration for most metals was higher than the background values set by the Chinese Environmental Protection Administration (CEPA), with the exception of K and Zr. No significant carcinogenic risk to health was identified in the study area. Possible sources and variation of elements in the soil of the mountainous region are discussed.

**Keywords:** soil of a mountainous region, maximum allowable concentration, elemental composition, X-ray fluorescence analysis method, Clark, general sanitary norm, sources of heavy metals, environment.

**Маълумот дар бораи муаллифон:** Фарход Раҳимӣ – д.и.ф.м., академик, Президенти Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 33. **Телефон:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Абдуллаев Сабур Фузайлович** – д.и.ф.м., мудири лабораторияи физикаи атмосфераи Институти физикаи техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com.

**Фарход Шоқир** – н.и.ф.м., директори Институти физикаи техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 927770426. **E-mail:** farhod0475@mail.ru.

**Холмуродов Фитрат** – н.и.ф.м., дотсент, муовини директор оид ба илм ва таълими ИФТ ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 935-15-30-03. **E-mail:** fitratk@mail.ru.

**Азизшоев Курбоншо Мибишоевич** – и.в. мудири МБТФЯ, ИФТ ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 938-38-08-18. **E-mail:** azizshoevq@mail.ru.

**Сведения об авторах:** Фарход Раҳими – д.ф.-м.н., академик, Президент Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33. **Телефон:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru

**Абдуллаев Сабур Фузайлович** – д.ф.-м.н., зав. лабораторией физики атмосферы ФТИ им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com

**Фарход Шоқир** – к.ф.-м.н., директор ФТИ им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 927770426. **E-mail:** farhod0475@mail.ru.

**Холмуродов Фитрат** – к.ф.-м.н., доцент, зам. директора по научно-учебной работе ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 935-15-30-03. **E-mail:** fitratk@mail.ru

**Азизшоев Курбоншо Мибишоевич** – и.о. заведующего МЦЯФИ. ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана. **Адрес:** 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1. **Телефон:** (+992) 938-38-08-18. **E-mail:** azizshoevq@mail.ru.

**Information about the authors: Farhod Rakhimi** – Academician, President of the National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave., 33. **Phone:** (+992) 900-00-44-99. **E-mail:** frahimi2002@mail.ru.

**Abdullaev Sabur Fuzaylovich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Laboratory of Atmospheric Physics of the S.U.Umarov Physical Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Ave., 299/1. **Phone:** (+992) 918-17-73-90. **E-mail:** sabur.f.abdullaev@gmail.com

**Farhod Shokir** – Ph.D., Director of the S.U.Umarov Physical Technical Institute, National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Ave., 299/1. **Phone:** (+992) 927-77-04-26. **E-mail:** farhod0475@mail.ru.

**Kholmurodov Fitrat** – Ph.D., Deputy Director for scientific and educational work of the S.U.Umarov Physical Technical Institute, National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Ave., 299/1. **Phone:** (+992) 935-15-30-03. **E-mail:** fitratk@mail.ru.

**Azizshoev Kurbonsho Mibishoevich** – Acting Head of the ICEPhI. S.U.Umarov Physical Technical Institute, National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini Ave., 299/1. **Phone:** (+992) 938-38-08-18. **E-mail:** azizshoevq@mail.ru.



**ПОЛУЧЕНИЕ ТРИПТОФАНСОДЕРЖАЩИХ ДИПЕПТИДОВ -  
ЛИГАНДОВ КОМБИНАЦИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ЦИНКА И ЭКСТРАКТА ЗОЛОТОГО КОРНЯ**

*Бобизода Г.М., Халимов М.М., Бегмуродов Р.И.*  
Таджикский национальный университет

Родиола 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 антидиабетическое, противораковое, омолаживающее, кардиозащитное, и нейропротекторные эффекты. 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 раковые клетки. 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 «Миличром-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 вместимостью 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  $\geq 98$  %) помещают в мерную колбу вместимостью 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 вместимостью 100 мл, прибавляли 30 мл 70 % этанола. Колбу закрывают пробкой и взвешивали с точностью до  $\pm 0,01$ . 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) (испытуемый раствор).

**3 мкл испытуемого раствора вводят в жидкостный хроматограф «Милихром-6» с УФ-детектором и хроматографируют в следующих условиях:**

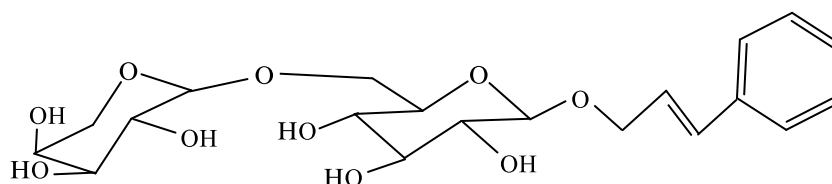
|                                |                                                                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Хроматографические условия     | Колонка 80 × 2,0 мм, октадецилсилил(С18)силикагель 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

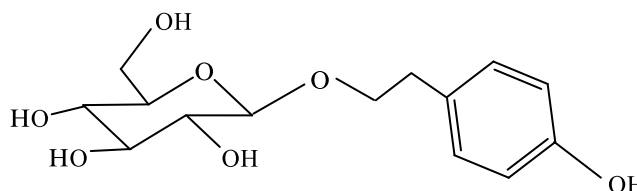
Из литературы известны препараты, представляющие собой координационные соединения дипептидов с цинком. Именно таким соединением является тимоцин, представляющий собой такое координационное соединение. Тимоцин проявляет иммуномодулирующие свойства, но о его влиянии на активность препаратов золотого корня 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 розавин и салидрозид**  
**Figure 1. Chemical formulas of rosavin and salidroside**



Розавин

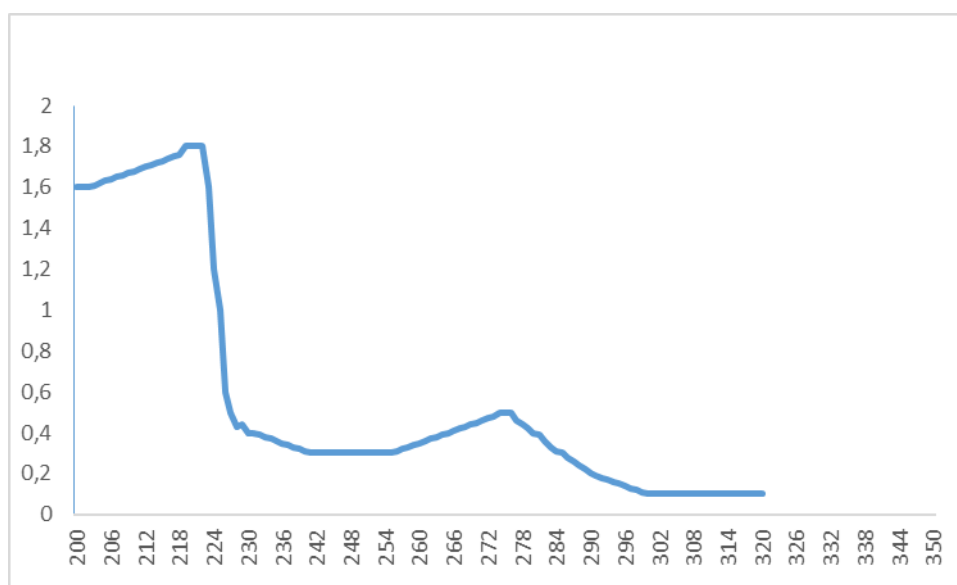


Салидрозид

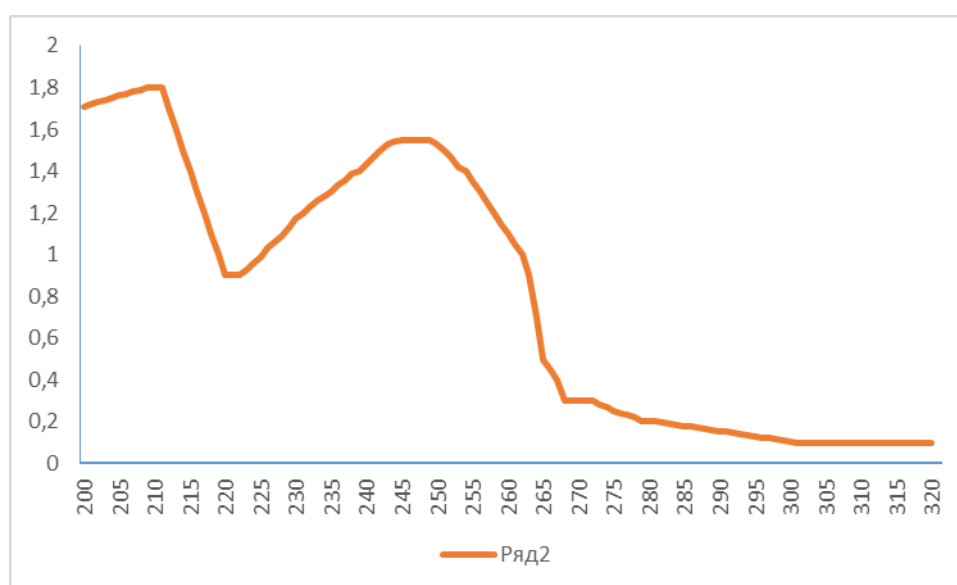
УФ-спектры салидрозина и розавина показаны на рис.2 и 3. УФ-спектр дипептида изолейцил-триптофан приведен на рис.4.

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.

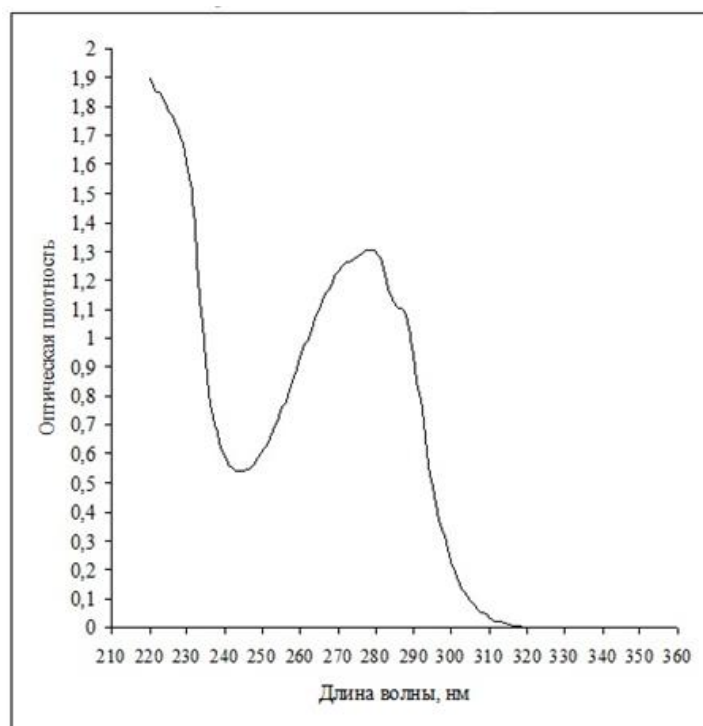
**Рисунок 2. УФ-спектр салидрозиды**  
**Figure 2. UV spectrum of salidroside**



**Рисунок 3 . УФ-спектр розавина**  
**Figure 3. UV spectrum of rosavin**

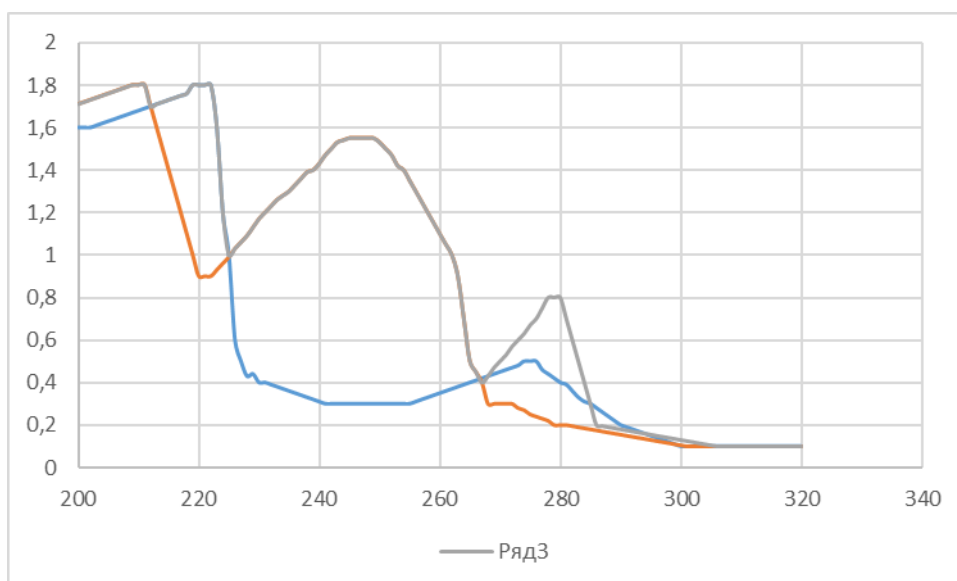


**Рисунок 4 . УФ-спектр дипептида изолейцил-триптофан**  
**Figure 4 . UV-spectrum dipeptida isoleucil-tryptophane**



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(C18) 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 ( $2,8 \pm 0,077$ ) и ( $3,0 \pm 0,070$ ) мин соответственно (рис. 6 и 7). Для розавина соответствующие значения составили ( $12,4 \pm 0,080$ ) и ( $12,8 \pm 0,070$ ) 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)**

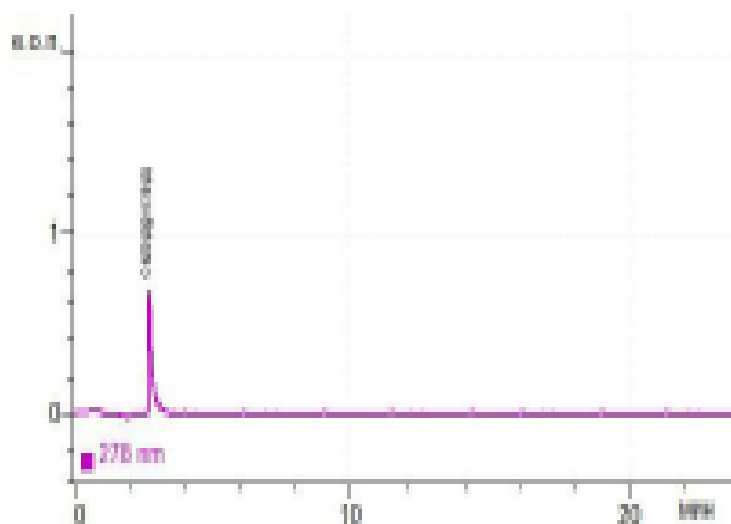


Рисунок 7. ВЭЖХ-хроматограмма исходного водно-спиртового извлечения из корневищ и корней родиолы розовой (1) и после добавления раствора стандартного образца салидрозида (2) (детекция при длине волны 278 нм)

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)

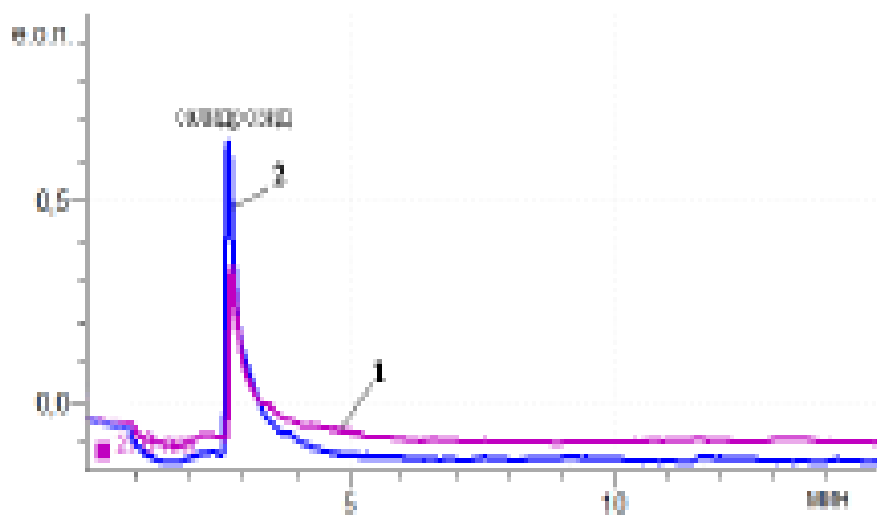
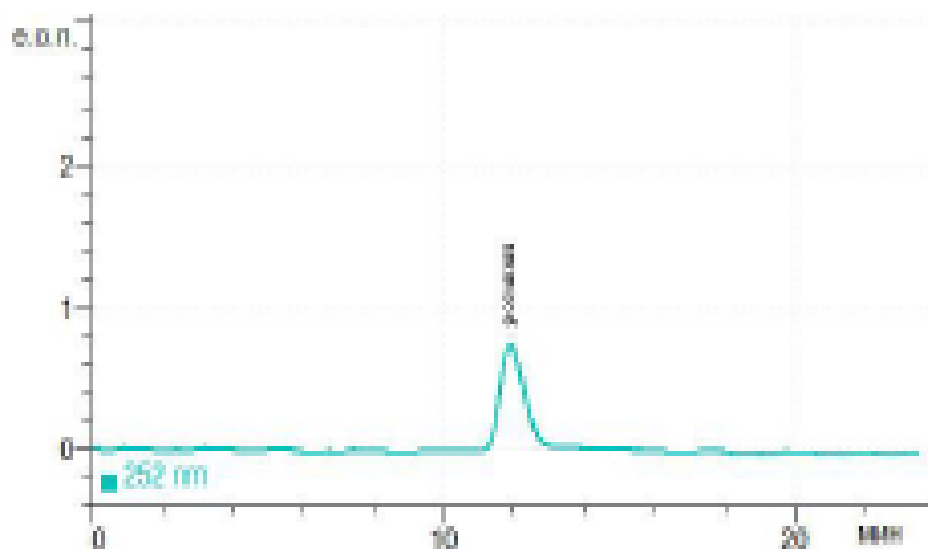


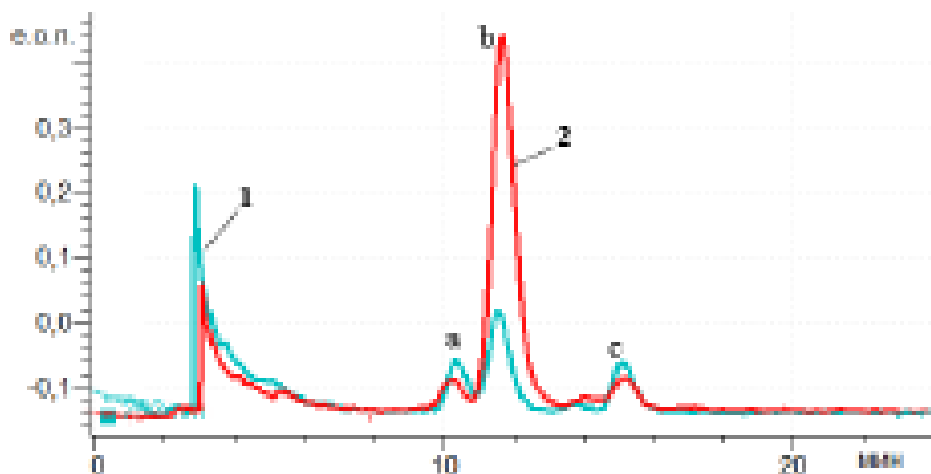
Рисунок 8. ВЭЖХ-хроматограмма раствора стандартного образца розавина, 0,60 мг/мл (детекция при длине волны 252 нм)

Figure 8. HPLC chromatogram of a solution of a standard sample of rosavin, 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)**



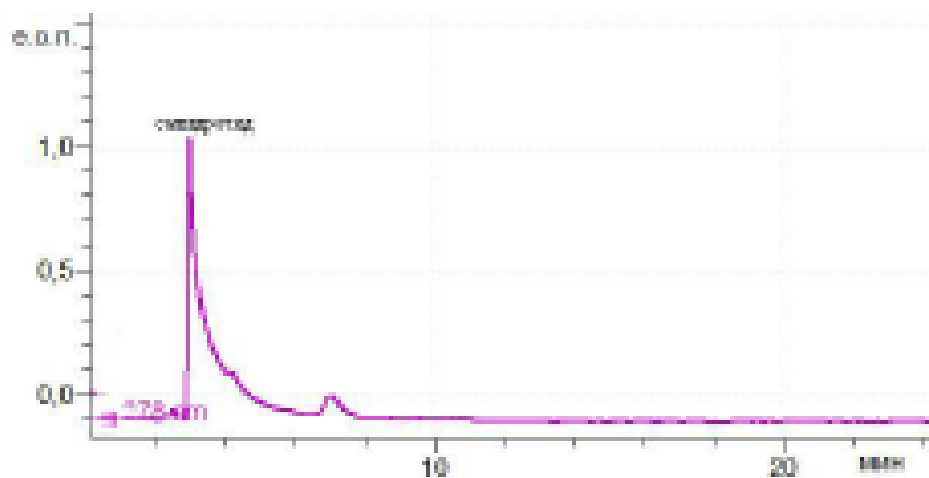
Обозначения: а – розарин; b – розавин; с – розин

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 проанализированы 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***

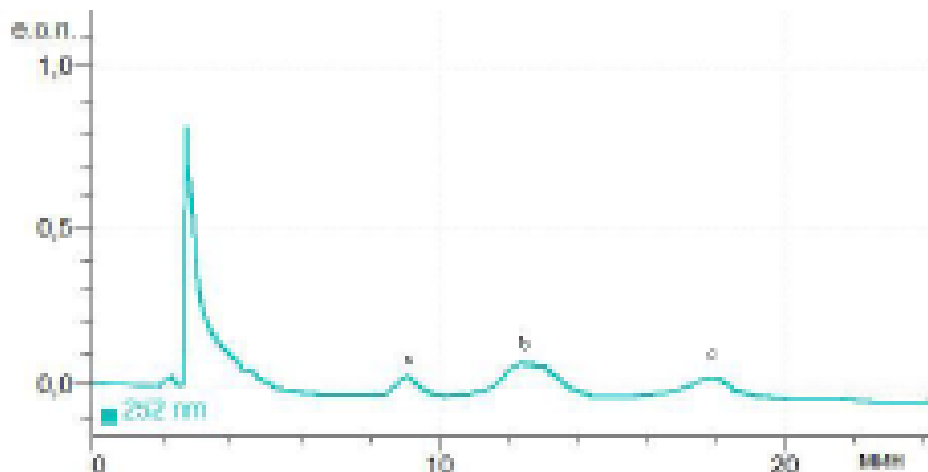


Примечание: детекция при длине волны 278 нм



**Рисунок 11. ВЭЖХ-хроматограмма экспериментального образца экстракта жидкого из корневищ и корней родиолы розовой**

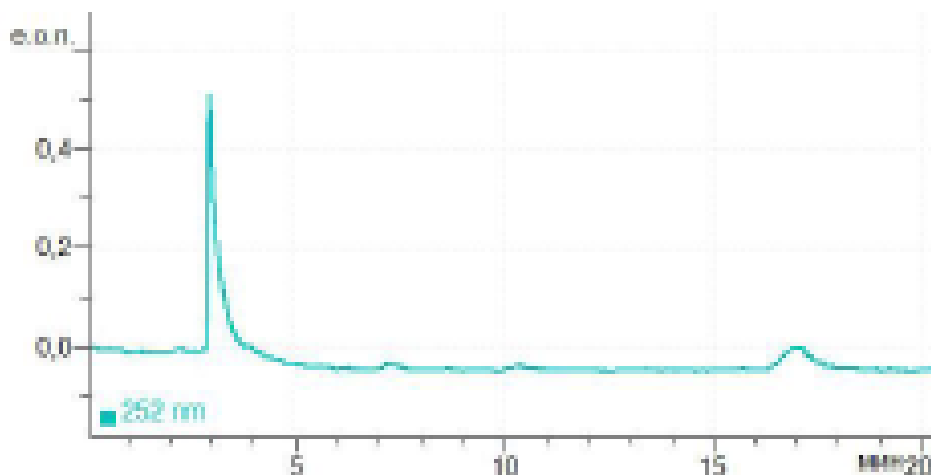
**Figure 11. VEZH chromatogram of an experimental sample of the extract of liquid from rhizomes and roots of pink rhodiola**



Примечание: а – розарин; b – розавин; с – 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

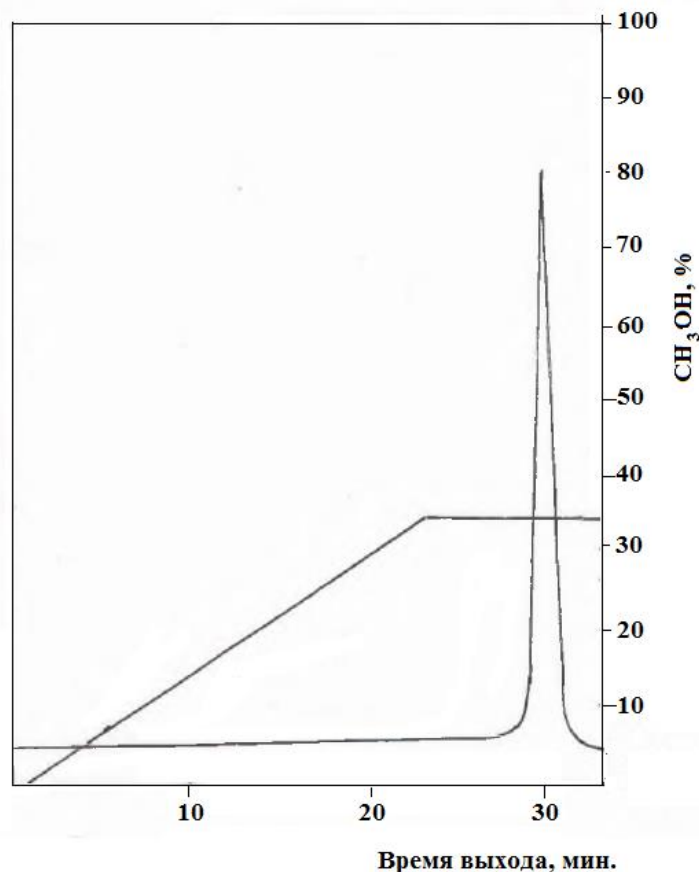
Содержание розавина в образцах жидких экстрактов, варьирует от 0,21 % ± 0,03 % до 0,32 % ± 0,04 % и салидрозида от 2,13 % ± 0,05 % до 2,71 % ± 0,12 % соответственно.

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.Погорельый, Т.Н. Глижова, Н.В. Никитина // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2015 – № 5. – Т. 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. Grysczyńska, 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, X. Neuroprotective effects of a *Rhodiola crenulata* extract on amyloid- $\beta$  peptides (A $\beta$ 1-42) -induced cognitive deficits in rat models of Alzheimer's disease / X. Zhang, X. Wang, H. Xinhua, X. Chum, L. Xintonga, F. 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 – хлорметилоксирана / 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. Khadzhieva, 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. Grysczyńska, 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, X. Neuroprotective effects of a *Rhodiola crenulata* extract on amyloid- $\beta$  peptides (A $\beta$ 1-42) -induced cognitive deficits in rat models of Alzheimer's disease / X. Zhang, X. Wang, H. Xinhua, X. Chum, L. Xintonga, F. 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 Tajik National University. Series of natural sciences. – 2017. – No. 1/1. – Pp. 187-193.

#### **ҲОСИЛ 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, фурубарию максимуми худудҳои 210, 248 ва 278 нм ҷойгир аст. Муқаррар карда шудааст, ки дар як вақт муайян кардани дипептиди салидросид, 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 баландэффети нишон дод, ки давраи нигоҳдории салидросид  $2,8 \pm 0,077$  даққиқа, розавин  $12,4 \pm 0,080$  даққиқа, барои дипептид 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 дипептид 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 ишемиаи шадиди мағзи сар ба таври назаррас беҳтар мекунанд.

**Калидвожаҳо:** салидросид, розавин, изолейтсил, триптофан, решаи тиллоӣ, руҳ, экстракт, дипептид, спектр.

#### **ПОЛУЧЕНИЕ ТРИПТОФАНСОДЕРЖАЩИХ ДИПЕПТИДОВ – ЛИГАНДОВ КОМБИНАЦИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЦИНКА И ЭКСТРАКТА ЗОЛОТОГО КОРНЯ**

Показано, что на УФ-спектре салидросида 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 салидросида, розавина и дипептида изолейцил-триптофан невозможно из-за наложения спектров веществ друг на друга. Методом ВЭЖХ показано, что время удерживания салидросида 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 раковые клетки. А также экстракты золотого корня значительно улучшают гемодинамические показатели мозгового кровообращения после острой ишемии мозга.

**Ключевые слова:** салидросид, 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  $2.8 \pm 0.077$  min, rosavin -  $12.4 \pm 0.080$  min, for isoleucyl-tryptophan dipeptide -  $30 \pm 0.85$  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 Гуломқодир Муккамал – доктори илмҳои биологӣ, доктори илмҳои фарматсевтӣ, профессори кафедраи химияи органикии ДМТ. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 918-17-03-60, **E-mail:** bobievgm@mail.ru.

**Ҳалимов Масрур Мансурович** – докторанти PhD кафедраи химияи органикии ДМТ. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 904-44-94-97, **E-mail:** halimov.masrur@mail.ru.

**Бегмуродов Расулulloх Имомназарович** – магистранти кафедраи химияи органикии ДМТ. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ, 17. **E-mail:** kaf.org.chem@mail.ru.

**Сведения об авторах:** Бобизода Гуломқодир Муккамал – доктор биологических наук, доктор фармацевтических наук, профессор кафедры органической химии ТНУ. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 918-17-03-60, **E-mail:** bobievgm@mail.ru.

**Халимов Масрур Мансурович** – докторант Ph.D кафедры органической химии ТНУ. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 904-44-94-97. **E-mail:** halimov.masrur@mail.ru.

**Бегмуродов Расулulloх Имомназарович** – магистрант кафедры органической химии ТНУ. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. **E-mail:** kaf.org.chem@mail.ru.

**Information about the authors:** Bobizoda Gulomkudir Mukkamal - doctor of biological sciences, doctor of pharmaceutical sciences, professor of the department of organic chemistry of TNU. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue 17. **Phone:** (+992) 918-17-03-60. 17. **E-mail:** bobievgm@mail.ru.

**Halimov Masrur Mansurovich** – Ph.D student of the Department of Organic Chemistry of TNU. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 904-44-94-97. **E-mail:** halimov.masrur@mail.ru.

**Begmurodov Rasululloh Imomnazarovich** – Master of Organic Chemistry of TNU **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **E-mail:** kaf.org.chem@mail.ru.

## СИНТЕЗ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ ГЛИЦЕРИНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

*Олимов Р.А.*

Дангаринский государственный университет

Синтез новых циклических производных глицерина в последнее время все больше привлекает внимание исследователей в различных странах мира [1-2].

Циклические производные на основе глицерина используются в качестве реагентов для тонкого органического синтеза, для получения биологически активных соединений.

Циклические эфиры глицерина, т.е. 1,3-диоксоланы, также обладают выраженной биологической активностью и на их основе был создан ряд эффективных лекарственных препаратов, которые нашли успешное применение в медицинской практике [3-4].

1,3-диоксоланы являются реакционноспособными соединениями, которые широко применяются в органическом синтезе, в производстве душистых веществ, физиологически активных препаратов, заказных химических реактивов.

Причем, в 1,3-диоксоланах наличие гидроксильной группы во втором положении приводит к усилению этого эффекта. Известны различные способы синтеза 1,3-диоксоланов. Один из них основан на конденсации оксиранов с оксосоединениями в присутствии эфирата  $\text{BF}_3$  или других кислот Льюиса [5].

На основе моноэфиров глицерина можно получать гетеро-циклические производные диоксоланового ряда. Производные 1,3- диоксоланов нашли практическое применение в качестве фарма-кологически активных препаратов и регуляторов роста растений [6].

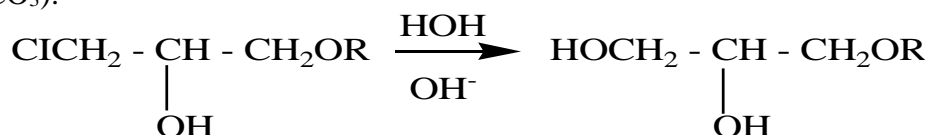
Такие соединения, продукты их химических превращений являются потенциально биологически активными, а некоторые из них рекомендованы в качестве лекарственных средств, пестицидов и т. д. [7-8].

Особый интерес эти гетероциклические продукты представляют в качестве исходных веществ в тонком органическом синтезе.

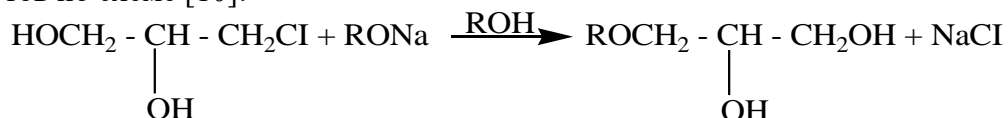
Фурфурол служит исходным сырьём для получения антимикробных препаратов группы нитрофуранов, таких как фурацилин и др.

В качестве исходных продуктов для синтеза целевых соединений использовали различные моноэфиры глицерина [9],

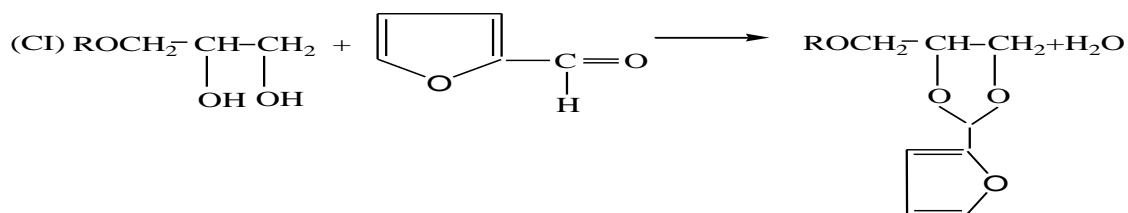
Нами синтезирован ряд моноэфиров глицерина по разработанной методике, путем гидролиза алкоксихлор-2-пропанолов с применением щелочных агентов ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ):



Достоверность полученных соединений подтверждена проведением встречных синтезов с использованием  $\alpha$ -монохлоргидрина глицерина и алкоголятов предельных спиртов по схеме [10]:



Реакцию  $\alpha$ -моноэфиров глицерина и фуффуrolа проводили в присутствии катализатора  $\text{SnCl}_4$  с использованием бензола в качестве растворителя при температурах 45-50°C, при соотношении реагентов:  $\alpha$ -моноэфиров глицерина: фуффуrolа: катализатора равного 2:1:0,05 в течение 2,5 часов по схеме [11-12]:



где: RO - $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ , н- $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}$ , н- $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}$ , н- $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}$ .

Соответствующие  $\alpha$ -моноэфиры глицерина подвергают взаимодействию с 5-замещенными фуффуrolами в присутствии катализатора - тетрагалогенида олова (где галоген-хлор, бром, йод) в среде хлорсодержащих апротонных растворителей, инертных в условиях реакции. Мольного соотношения реагентов фуффуrol,  $\alpha$ -моноэфиров глицерина и катализатора равно 1:2:0,05. Раствор катализатора в растворителе равномерно добавляют к реакционной смеси так, чтобы температура находилась в интервале 45-50 °С. Использование мольного соотношения замещенный фуффуrol:  $\alpha$ -моноэфиров глицерина: катализатора менее 1:2:0,05 требует увеличения температуры реакции до 60-65 °С, что вызывает повышенное смолообразование. Дальнейшее снижение молярного отношения приводит к прекращению реакции. Увеличение молярного отношения вызывает потери за счет избытка реагентов и осмоления продукта.

Важнейшие физико-химические характеристики приведены в табл.1 в табл.2 даны спектральные характеристики диоксоланов, подтверждающих их строение.

Индивидуальность полученных новых соединений подтвердилась элементарным анализом, определением  $n_D^{20}$ ,  $d_4^{20}$ ,  $\text{MR}_D$ , ИК- и ПМР-спектроскопией.

**Таблица 1. Важнейшие физико-химические константы 2-фурил-4-(хлор)-алкоксиметил-1,3-диоксоланов**

**Table 1. The most important physicochemical constants of 2-furyl-4-(chloro)-alkoxymethyl-1,3-dioxolanes**

| RO                            | Брутто<br>фор-ла                       | Выход<br>% | Т. кип.<br>°C/мм.<br>рт.ст | $n_D^{20}$ | $d_4^{20}$ | $\text{MR}_D$  | C              | H            | Cl             |
|-------------------------------|----------------------------------------|------------|----------------------------|------------|------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
|                               |                                        |            |                            |            |            | Най.<br>выч.   | Най.<br>выч.   | Най.<br>выч. | Най.<br>выч.   |
| Cl                            | $\text{C}_8\text{H}_9\text{ClO}_3$     | 76,4       | 136/5                      | 1,4974     | 1,4026     | 43,35<br>43,43 | 50,70<br>50,91 | 4,55<br>4,78 | 18,62<br>18,83 |
| - $\text{OC}_2\text{H}_5$     | $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_4$ | 78,6       | 119/4                      | 1,4462     | 1,0743     | 49,17<br>49,35 | 60,43<br>60,61 | 6,88<br>7,07 | -              |
| н- $\text{OC}_3\text{H}_7$    | $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{O}_4$ | 75,3       | 126/4                      | 1,4501     | 1,0606     | 53,73<br>53,94 | 62,19<br>62,32 | 7,34<br>7,55 | -              |
| н- $\text{OC}_4\text{H}_9$    | $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_4$ | 71,4       | 135/4                      | 1,4548     | 1,0503     | 58,36<br>58,54 | 63,61<br>63,71 | 7,83<br>7,97 | -              |
| н- $\text{OC}_5\text{H}_{11}$ | $\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}_4$ | 68,1       | 143/4                      | 1,4598     | 1,0451     | 62,87<br>63,14 | 64,88<br>65,00 | 8,18<br>8,33 | -              |

**Таблица 2. Спектральные характеристики 2-фурил-4(хлор)-алкоксиметил - 1,3-диоксоланов**

**Table 2. Spectral characteristics of 2-furyl-4(chloro)-alkoxymethyl-1,3-dioxolanes**

|   | ИК спектр, см <sup>-1</sup>                       |                                    | ПМР спектр, δ, м.д.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|---------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Фурановый цикл                                    | С-О-С                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1 | 1263, 995, 930, 890, 1438, 1511, 1613, 3140, 1368 | 1020, 1078, 1090, 1100, 1160       | 1,18 (т,3Н, CH <sub>3</sub> ); 3,50 (к, 2Н, CH <sub>2</sub> ); 3,90 (д, 2Н, О-CH <sub>2</sub> ); 3,60 (д, 2Н,О-CH <sub>2</sub> ); 4,17 (м, 1Н, О-СН); 5,97 (д,1Н, 4СН <sub>фур.</sub> ); 6,13 (д,1Н,3СН <sub>фур.</sub> ); 7,15 (д, 1Н, 5СН <sub>фур.</sub> )                                                       |
| 2 | 910, 930, 1250, 1355, 1430, 1510, 1615, 3140      | 1015, 1075, 3180, 1090, 1115, 1147 | 0,93 (т,3Н, CH <sub>3</sub> ); 1,52 (м, 2Н, CH <sub>2</sub> ); 3,39 (т, 2Н, CH <sub>2</sub> ); 3,50 (д, 2Н, CH <sub>2</sub> ); 4,14 (м, 1Н, О-СН); 3,95(д, 2Н, О-CH <sub>2</sub> );5,97 (с, 1Н, О-СН-О); 6,19 (д, 1Н, 4СН <sub>фур.</sub> ); 6,29 (т, 1Н, 3СН <sub>фур.</sub> ); 7,15 (д, 1Н, 5СН <sub>фур.</sub> ) |
| 3 | 905, 930, 1253, 1368, 1454, 1506, 1607,3131       | 1013, 1058, 1100, 1164, 1027       | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4 | 910, 930, 1250, 1340, 1380, 1430, 1506, 1616      | 1010, 1080, 1090, 1115, 1190       | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Анализ многочисленных отечественных и зарубежных источников показывает, что начиная с 70-годов XX века учёные уделяют большое внимание синтезу и изучению биологических свойств новых глицератов цинка, кобальта, железа, серебра, никеля и марганца. Структуры некоторых из этих комплексов предложены [13]. Глицерат кобальта (II) и железа (III) был полностью изучен, с предложенными структурами, но пока ни о каких заявлениях не сообщили для этих комплексов. Однако эти исследования показали сложные механизмы, происходящие во время координации металла к глицерину.

Как известно, металлы (цинк, кобальт, железо) входят в состав активных центров металлопротеиназа (коллагеназы, эластазы, катепсина G), а также эндогенных ингибиторов протеиназа (цистатина, α<sub>1</sub>-антитрипсина, α<sub>2</sub>-макроглобулина). В то же время, избыток железа, марганца способен блокировать деградацию в лизосомах макрофагов, что сопровождается персистенцией вирусов и микробов, повышенной продукцией цитокинов и факторов роста [14].

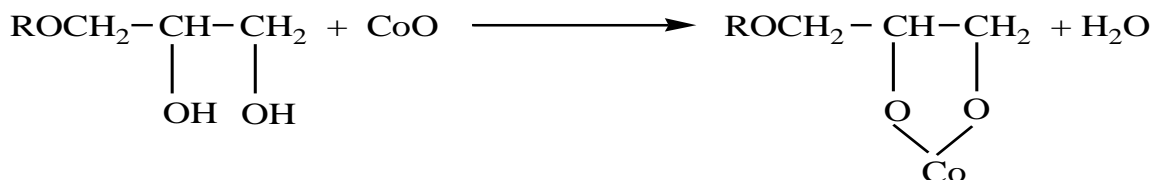
Биологическое действие кобальта известно с 1948 г., когда учеными Рикесом и Смитом было установлено, что атом кобальта является центральным в молекуле витамина В<sub>12</sub>. Максимальная концентрация кобальта в тканях равна около 100 мкг/кг. Общее содержание кобальта в организме взрослого человека составляет 5 мг. Человек с пищей ежедневно получает 5,63–7,94 мкг кобальта, из которых 73–97% усваивается.

Средняя суточная потребность в кобальте составляет 60 мкг на 1 кг массы тела. Считают, что человек нуждается в кобальте только в виде цианокобаламина (витамин В<sub>12</sub>).



Кобальт относится к числу микроэлементов, постоянно присутствующих в тканях растений и животных. Некоторые наземные растения и морские водоросли способны накапливать кобальт. Кобальт участвует в важнейших процессах организма — кроветворении, функциях нервной системы и печени, ферментативных реакциях.

Взаимодействия 3-алкоксипропандиолов-1,2 с оксидом кобальта по схеме [15]:



где: RO –C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O, н-C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>O, н-C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>O, н-C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>O.

Изучение этого превращения в среде растворителей показало, что при температуре 180-185 °С и соблюдении мольного соотношения α-моноэфиров глицерина и оксида кобальта 1:1 наблюдается удовлетворительное протекание процесса в течение 25-27 часов. В этих условиях выход целевого продукта составляет 67-71%.

Выявлено, что с увеличением объема алкильного радикала выход конечного продукта уменьшается. Предполагается, что положительный индукционный эффект алкильного радикала понижает реакционную способность гидроксильных групп моноэфиров глицерина.

Синтезированные глицераты кобальта (II) представляют собой кристаллические вещества с четкой температурой плавления, не растворимые в воде, количественно растворяются в ДМФА, ТГФ, диоксане.

Состав и строение полученных веществ охарактеризованы данными элементного анализа, ИК-спектроскопией. Чистота полученных соединений контролировалась методом ТСХ в системах этанол-пиридин (1:1), хлороформ - уксусная кислота-ацетон (5:1:1), проявитель - пары йода.

В ИК-спектре синтезированных веществ наблюдается исчезновение полосы поглощения в области 3500-3400 см<sup>-1</sup>, характерной для ОН-групп исходного продукта, и появление новых полос поглощения в области 507-495 см<sup>-1</sup> характерных для (-О-Со-О-) группы.

Важнейшие константы полученных веществ приведены в табл. 3.

**Таблица 3. Важнейшие физико- химические константы глицератов кобальта**  
**Table 3. The most important physicochemical constants of cobalt glycerates**

| R                                  | Брутто формула                                   | Вы-<br>ход % | T <sub>n</sub> <sup>0</sup> С | % Со<br>най./ выч. | R <sub>f</sub> |      |      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------------|----------------|------|------|
|                                    |                                                  |              |                               |                    | a              |      | в    |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> –    | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> Со | 71           | 359-361                       | 33.10 /33.33       | 0.56           | 0.39 | 0.73 |
| н-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> –  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> Со | 69           | 369-371                       | 30.60/30.89        | 0.54           | 0.36 | 0.69 |
| н-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> –  | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> Со | 68           | 373-375                       | 28.76/28.78        | 0.53           | 0.35 | 0.65 |
| н-C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> – | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub> Со | 67           | 379-381                       | 26.91/26.94        | 0.49           | 0.33 | 0.61 |

Фармакологическая активность 2-фурил-4-алкоксиметил-1,3-диоксоланов. Известно, что соединения 1,3-диоксоланового ряда относятся к веществам, обладающим выраженной биологической активностью [7]. С целью выявления

фармакологической активности некоторых из синтезированных нами соединений испытаниям были подвергнуты 4 производных 1,3-диоксоланов, данные которых приведены в таблице.

Вещества вводились внутривенно и внутривенно в виде 1-3%-ных растворов в воде или твине – 80.

Общее действие и токсичность соединений изучали в острых опытах на белых мышах массой 17-24 г при внутривенном введении. Вещества вводились из расчета от 100 до 1500 мг/кг массы тела с интервалом между дозами 50-100 мг/кг.

При определении общего действия и токсичности установлено, что данные соединения вызывают угнетение центральной нервной системы, животные становятся вялыми, малоподвижными, принимают боковое положение LD<sub>50</sub> этих соединений составляет 400-1500 мг/кг. Найдено, что LD<sub>50</sub> папаверина равна 150-200 мг/кг массы тела. На основании этих данных можно судить о том, что исследованные соединения являются малотоксичными.

Влияние препаратов на сердечно-сосудистую систему изучали в опытах на наркотизированных кошках. Вещества вводили внутривенно в дозе 3-5-10-25 мг/кг массы тела. Папаверин в дозе 1-2-5-10 мг/кг снижает артериальное давление в среднем на 10-30 мм рт.ст., а продолжительность действия сохраняется при этом в течение 35-60 мин. Эффект наиболее выражен в дозе 5-10 мг/кг.

Результаты сравнительных испытаний на биологическую активность данных соединений приведены в таблицах.

Для выявления курапе-эффекта изучаемых препаратов была использована методика Н. Dale, W. Feldberg, N. Vogt.

Из данных таблицы следует, что степень снижения артериального давления у соединений 9-12 близка к аналогичному эффекту папаверина. По продолжительности воздействия соединения 11,12 превосходят папаверин, а в то время у соединений 9,10 продолжительность воздействия несколько уступает папаверину. Полученные данные по токсичности свидетельствуют о том, что с увеличением радикалов на СН<sub>2</sub>-группу в данном ряду наблюдается уменьшение их токсичности. Данные соединения следует отнести к малотоксичным веществам.

**Таблица 4. Данные фармакологической активности 2-фурил--4-алкоксиметил-1,3-диоксоланов**

**Table 4. Data on the pharmacological activity of 2-furyl--4-alkoxymethyl-1,3-dioxolanes**

| Брутто фор-ла                                  | LD <sub>50</sub> мг/кг | Доза мг/кг | Снижение артериального давления, мм рт.ст. | Продолжительность мин. |
|------------------------------------------------|------------------------|------------|--------------------------------------------|------------------------|
| C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> | 400                    | 5          | 35                                         | 35                     |
| C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub> | 879                    | 10         | 35                                         | 35                     |
| C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> | 729                    | 5          | 35                                         | 55-60                  |
| C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub> | 1500                   | 5          | 35                                         | 55-60                  |
| Папаверин                                      | 150-200                | 10         | 35                                         | 45-60                  |

А также проведены исследования по выявлению физиологической активности некоторых глицератов кобальта.

Ряд препаратов на основе производных глицерина нашли применение для лечения сахарного диабета, гипертонической болезни, в качестве стимуляторов роста растений [6].

Испытания проводились на семенах пшеницы сортов «Шарора», «Добрый», а проращивание осуществлялось в чашках Петри на фильтровальной бумаге при 25<sup>0</sup>С с использованием водных растворов глицератов кадмия в следующих концентрациях: 0,1%, 0,01%, 0,001%.

Полученные результаты приведены в табл. 5,6.

В качестве контроля были использованы дистиллированная вода, растворы гиббериллина (ГБ), индолиуксусной кислоты (ИУК) в качестве стимуляторов роста и гидразида малеиновой кислоты (ГМК) в качестве ингибитора прорастания. На 3-й, 5-й и 8-ой день проращивания проводились измерения проростков, корневой системы, а также подсчет числа междоузлий. Математическая обработка полученных результатов проводилась по Рокицкому. ГОСТ 12038-84 «Методы определения всхожести».

**Таблица 5. Влияние некоторых глицератов кобальта на всхожесть и энергию прорастания семян пшеницы сорта «Шарора»**

**Table 5. The effect of some cobalt glycerates on the germination and germination energy of wheat seeds of the Sharora variety**

| Испытуемые препараты                             | Шифр | Концентрация, % | Всхожесть по дням, % |             |             |
|--------------------------------------------------|------|-----------------|----------------------|-------------|-------------|
|                                                  |      |                 | 3-й<br>x±Sx          | 5-й<br>x±Sx | 8-й<br>x±Sx |
| H <sub>2</sub> O                                 |      | дист.           | 59,0±3,9             | 67,1±4,2    | 79,8±6,5    |
| ИУК                                              |      | 0,001           | 67,3±1,4             | 73,3±2,5    | 77,0±5,7    |
|                                                  |      | 0,01            | 63,3±0,8             | 71,3±1,3    | 75,3±1,6    |
|                                                  |      | 0,1             | 53,3±2,8             | 59,3±2,0    | 67,5±3,3    |
| ГМК                                              |      | 0,001           | 70,3±2,8             | 73,0±2,3    | 93,0±2,3    |
|                                                  |      | 0,01            | 67,5±1,8             | 71,3±4,3    | 89,6±2,6    |
| ГБ                                               |      | 0,001           | 57,3±3,8             | 67,3±2,6    | 71,3±2,6    |
|                                                  |      | 0,01            | 47,5±2,9             | 53,0±3,2    | 69,5±1,3    |
| C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> Co | O-1  | 0,001           | 73,7±1,1             | 79,5±6,3    | 87,3±2,2    |
|                                                  |      | 0,01            | 67,6±4,1             | 75,3±3,3    | 81,6±1,1    |
|                                                  |      | 0,1             | 53,3±1,9             | 69,6±1,9    | 73,2±2,9    |
| C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> Co | O-2  | 0,001           | 77,5±4,9             | 83,7±2,9    | 89,3±5,9    |
|                                                  |      | 0,01            | 65,3±2,1             | 79,5±0      | 85,5±8,3    |
|                                                  |      | 0,1             | 65,3±3,1             | 69,5±1,1    | 75,1±5,8    |
| C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> Co | O-3  | 0,001           | 85,3±4,9             | 89,2±2,9    | 91,6±4,1    |
|                                                  |      | 0,01            | 80,0±1,9             | 83,1±1,1    | 87,2±3,9    |
|                                                  |      | 0,1             | 73,5±11              | 81,4±1,4    | 83,9±2,1    |

**Таблица 6. Влияние некоторых глицератов кобальта на всхожесть и энергию прорастания семян пшеницы сорта «Добрый»**

**Table 6. The effect of some cobalt glycerates on the germination and germination energy of wheat seeds of the Dobry variety**

| Испытуемые препараты                             | Шифр р | Концентрация, % | Всхожесть по дням, % |          |          |
|--------------------------------------------------|--------|-----------------|----------------------|----------|----------|
|                                                  |        |                 | 3-й х±Sx             | 5-й х±Sx | 8-й х±Sx |
| H <sub>2</sub> O                                 |        | дист.           | 45,5±1,1             | 57,5±6,8 | 67,1±3,9 |
| ИУК                                              |        | 0,001           | 33,3±1,4             | 43,3±2,5 | 56,0±5,7 |
|                                                  |        | 0,01            | 62,3±0,8             | 72,3±1,3 | 94,6±1,6 |
|                                                  |        | 0,1             | 65,3±2,8             | 76,3±2,0 | 78,0±3,3 |
| ГМК                                              |        | 0,001           | 82,3±1,8             | 88,0±4,6 | 90,6±2,6 |
|                                                  |        | 0,01            | 85,3±2,8             | 96,0±2,3 | 96,0±2,3 |
| ГБ                                               |        | 0,001           | 80,2±3,8             | 87,3±2,6 | 89,3±2,6 |
|                                                  |        | 0,01            | 62,5±2,6             | 77,0±3,2 | 98,6±1,4 |
| C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> Co | O-1    | 0,001           | 69,7±6,6             | 85,4±6,3 | 87,5±2,2 |
|                                                  |        | 0,01            | 78,6±4,1             | 83,3±3,3 | 85,2±1,1 |
|                                                  |        | 0,1             | 75,3±1,9             | 78,5±1,9 | 83,2±2,9 |
| C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> Co | O-2    | 0,001           | 77,3±2,9             | 78,9±2,9 | 78,9±1,1 |
|                                                  |        | 0,01            | 78,1±2,9             | 80,3±3,9 | 83,1±2,6 |
|                                                  |        | 0,1             | 76,5±1,9             | 83,2±2,9 | 86,6±1,1 |
| C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> Co | O-3    | 0,001           | 80,4±2,0             | 83,1±1,9 | 85,2±1,1 |
|                                                  |        | 0,01            | 79,1±1,2             | 81,9±1,9 | 83,7±1,1 |
|                                                  |        | 0,1             | 73,1±1,1             | 75,5±3,0 | 83,1±1,6 |

Из таблицы видно, что стимулирующее действие препарата наблюдается при слабых концентрациях, а ингибирующий эффект - при высоких концентрациях.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Состав, структуру и чистоту полученных продуктов подтверждали методами тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинке «Silufol» с применением системы растворителей: А-этанол: 25%-ый раствор аммиака (7:3), Б-н-бутанол: диоксан (1:1), В-изопропанол: эфир (1:1), Г-этанол: пиридин (1:1), Д-CHCl<sub>3</sub>: CH<sub>3</sub>-C-CH<sub>3</sub> (5:1:1). Проявитель пары йода, а также газожидкостной хроматографии (ГЖХ) на хроматографе «Хром-5», колонка 3,7 м X 3мм с неподвижной фазой SE-30(5%), нанесенной на хроматрон N-AW. Газ - носитель - гелий, скорость 40 мл/мин, темп. испарителя 180-220<sup>0</sup>С, темп., колонки 200<sup>0</sup>С, детектор - плазменно - ионизационный.

Ик-спектры синтезированных соединений регистрировали на спектрометре Ик-Фурье спектрометр Raffinity-1(Shimadzu - Япония) в таблетках KBr.

ПМР - спектры сняты на спектрометре «Tesla B-487» (80 Мгц). Стандарт - ГМДС.

Содержание углерода и водорода определяли методами элементного анализа.

#### Синтез 2-фурил-4-алкоксиметил- 1,3-диоксолана

К смеси 8,3мл (0,1 моль) фуфурола и 15,7мл (0,2 моль) 2 α - моноэфиров глицерина в 40 мл растворителя добавляют раствор 0,6 мл (0,05 моль) SnCl<sub>4</sub> в 5 мл растворителя. Добавление ведут равномерно, таким образом, чтобы температура реакционной смеси была 45-50 °С. Время реакции 2,5ч. Затем смесь многократно промывали 20%-ным раствором щелочи и водой, отгоняли, растворитель и продукт

выделяли вакуумной перегонкой. Выход диоксолана составляет 73,5% от прореагировавшего фурфурола.

Выходы 2-фурул-4-алкоксиметил-1,3-диоксолана и их физико-химические характеристики приведены в табл. 1. В табл. 2 даны спектральные характеристики диоксоланов, подтверждающих их строение.

### Синтез глицератов кобальта

В двухгорлой колбе (объем 0,5л), снабженной насадкой Динна-Старка, обратным холодильником и термометром нагревали 1г/моль 3-алкоксипропандиолов -1,2 и к нему добавляли оксид кобальта (1г/моль) и 35 мл растворитель, реакционную смесь нагревали при температуре 180 - 185 °С (С<sub>2</sub> – С<sub>5</sub>) в течение от 25 ч. до 27 часов, реакционная смесь приобретала цвет оксида металла.

Затем из реакционной смеси отгоняли растворители при температуре 109-115 °С с помощью ротора испарителя.

Синтезированные эфиры глицерата металла представляют собой кристаллические вещества с четкой температурой плавления. Они не растворяются в воде, количественно растворяются в ДМФА, ТГФ и диоксане.

### ВЫВОДЫ

1. Разработаны пути синтеза и изучены физико-химические и биологические свойства новых производных глицерина на основе  $\alpha$ -моноэфиров глицерина, что в совокупности является определённым вкладом в развитие органической химии.

2. Выявлены наиболее оптимальные условия синтеза новых производных 1,3-диоксоланов в реакции  $\alpha$ -моноэфиров глицерина с фурфуролом. Установлено, что данный процесс протекает гладко при температуре 45-50°С в присутствии катализатора SnCl<sub>4</sub>, с выходом конечного продукта 68-79%.

3. Получены и охарактеризованы 9 новых соединений, среди которых выявлены вещества, обладающие гипотензивной, спазмолитической, росторегулирующей активностью, при низкой токсичности. Среди полученных веществ выявлены соединения, обладающие избирательным росторегулирующим действием на всхожесть и энергию прорастания семян пшеницы сортов «Шарора» и «Добрый».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманкулов, Д.Л. Физические и химические свойства глицерина / Д.Л. Рахманкулов и др. – М.: Химия, 2003. – 200 с.
2. Абдрашитов, Я.М. Глицерин. Методы получения, промышленное производство и области применения / Я.М. Абдрашитов, Ю.К. Дмитриев, Б.Х. Кимсанов и др. – М.: Химия, 2001. – 168 с.
3. Эрина, Е.В. Лечебный эффект кардиоселективного  $\beta$  - адреноблокатором и его влияние на показатели центральной внутрисердечной и регионарной гемодинамики у больных гипертонической болезнью / Е.В. Эрина, Х.Э. Чарыев, Е.В. Ощепкова // Кардиология. – 1983. – №3. – С.53-59.
4. Олимов Р.А. Синтез на основе  $\alpha$ -моноэфиров глицерина и изучение их физико-химических и биологических свойств: Автореф... дисс. к.х.н. - Душанбе, 2010. – 23 с.
5. Hardie, W.R. 4-(2-Piperidyl)-1,3-dioxolanes with local anesthetic Spasmolitic and central nervous Systemactivity / W.R. Hardie, J. Hidalgo, J.E. Habverstadt // J. Am. Chem. Soc. – 1966. – Vol. 9. – No.1. – Pp. 127-136.
6. Рахманкулов, Д.Л. Глицерин в синтезе регуляторов роста растений / Д.Л. Рахманкулов, Б.Х. Кимсанов и др. // Башк. хим. журнал. – 1999. – Т. 6. – № 4. – С.43-45.
7. Рахманкулов, Д.Л. Химия производных глицерина / Д.Л. Рахманкулов и др. – Уфа: Башкнигоиздат, 1992. – 144 с.
8. Абдрахманова А.Р. и др. Окисление 1,3-диоксациклов гипохлоритом натрия / А.Р. Абдрахманова и др. / Первая Всероссийская конференция по химии гетероциклов. Тез. докл. – Суздаль, 2000. – С.75.
9. Олимов, Р.А. Синтез на основе  $\alpha$ -моноэфиров глицерина и поиск путей их практического применения / Р.А. Олимов и др. – Душанбе, 2015. – 113 с.

10. Олимов, Р.А. Органический синтез на основе глицерина / Р.А. Олимов, С.Э. Тагаева, М.Б. Каримов. – Душанбе, 2021. – 119 с.
11. Олимов, Р.А. Синтез 2-фурил-4-(хлор)-алкоксиметил-1,3-диоксоланов / Р.А. Олимов, М.Б. Каримов и др. // Вестник Таджикского национального университета. – 2010. – Т.59. – № 3. – С.231-234.
12. Олимов, Р.А. Синтез новых производных 1,3-диоксолана и изучение их свойств / Р.А. Олимов, М.Б. Каримов, М.Б. Мухамеджанов // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе, 2010. – С. 71-74
13. Radoslovich, E.W. Crystalline cobalt, zinc, manganese and iron alkoxides of glycerol / E.W. Radoslovich // Aust. J. Chem. – 1970. – No. 23 (10) – Pp. 1963-1971.
14. Ноздрюхина, Л.Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / Л.Р. Ноздрюхина. – М.: Наука, 1977. – 183 с.
15. Олимов, Р.А. Синтез и изучение новых глицератов кобальта / Р.А. Олимов, А. Гулзод, М.Б. Каримов // Докл. АН РТ. – 2009. – Т. 52. – №4. – С. 293-295.

#### REFERENCES

1. Rakhmankulov, D.L. and others. Physical and chemical properties of glycerin / D.L. Rakhmankulov etc. – M.: Chemistry, 2003. – 200 p.
2. Abdrashitov, Y.M. Glycerin. Production methods, industrial production and application areas / Y.M. Abdrashitov, Yu.K. Dmitriev, B.X. Kimsanov etc. – M.: Chemistry, 2001. – 168 p.
3. Erina, E.V. Therapeutic effect of a cardioselective  $\beta$ -adrenoblocker and its influence on the indices of central intracardiac and regional hemodynamics in patients with essential hypertension / E.V. Erina, H.E. Charyev, E.V. Oshepkova // Cardiology. – 1983. – No. 3. – Pp. 53-59.
4. Olimov, R. Synthesis on the basis of glycerol  $\alpha$ -monoesters and the study of their physicochemical and biological properties: Abstract of the dissertation. candidate of chemical sciences / R. Olimov. – Dushanbe, 2010. – 23 p.
5. Hardie, W.R. 4-(2-Piperidyl)-1,3-dioxolanes with local anesthetic Spasmolytic and central nervous Systemactivity / W.R. Hardie, J. Hidalgo, J.E. Habverstadt // J. Am. Chem. Soc. – 1966. – Vol. 9. – No.1. – Pp. 127-136.
6. Rakhmankulov, D.L. Glycerin in the synthesis of plant growth regulators / D.L. Rakhmankulov, B.X. Kimsanov etc. // Bashk. chem. etc. – 1999. – Vol. 6. – No. 4. – Pp. 43-45.
7. Rakhmonkulov D.L. Chemistry of glycerin derivatives / D.L. Rakhmankulov. – Ufa: Bashknigoizdat, 1992. – 144 p.
8. Abdrakhmanova, A.R. Oxidation of 1,3-dioxacyclanes with sodium hypochlorite / A.R. Abdrakhmanova // First All-Russian Conference on the Chemistry of Heterocycles. Tez. Report. – Suzdal, 2000. – 75 p.
9. Olimov, R. Synthesis based on glycerol  $\alpha$ -monoesters and the search for ways of their practical application / R. Olimov etc. – Dushanbe, 2015. – 113 p.
10. Olimov, R. Organic synthesis based on glycerin / R. Olimov, S.E. Tagaeva, M.B. Karimov. – Dushanbe, 2021. – 119 p.
11. Olimov, R. Synthesis of 2-furyl-4-(chloro)-alkoxymethyl-1,3-dioxolanes / R. Olimov, M.B. Karimov etc. // Bulletin of the Tajik National University. – 2010. – Vol. 59. – No. 3. – Pp. 231-234.
12. Olimov, R. Synthesis of new derivatives of 1,3-dioxolane and study of their properties / R. Olimov, M.B. Karimov, M.B. Mukhamedzhanov // Bulletin of the Tajik National University. – Dushanbe, 2010. – Pp. 71-74.
13. Radoslovich, E.W. Crystalline cobalt, zinc, manganese and iron alkoxides of glycerol / E.W. Radoslovich // Aust. J. Chem. – 1970. – No. 23 (10) – Pp. 1963-1971.
14. Nozdryukhina, L.R. Biological role of trace elements in animals and humans / L.R. Nozdryukhin. – M.: Nauka, 1977. – 183 p.
15. Olimov, R.A. Synthesis and study of new cobalt glycerates / R. Olimov, A. Gulzod, M.B. Karimov // Dokl. of AS RT. – 2009. – Vol. 52. – No. 4. – Pp. 293-295.

#### ТАВЛИФИ ҲОСИЛАҲОИ СИКЛИИ ГЛИТСЕРИН ВА ОМУӢЗИШИ ҲОСИЯТҲОИ БИОЛОГИИ ОН

Глитсерин бо хусусиятҳои сохти худ ва қобилияти реаксионӣ дар байни спиртҳои бисёратома ҷойи муҳимро ишғол мекунад. Аз ин истифода бурда, дар вақтҳои охир як қатор дигаргуниҳои химиявиро ба амал овард, ки боиси тавлифи ҳосилаҳои нави функционали гардад. Тавлифи ҳосилаҳои нави 1,3-диоксоланҳо дар солҳои охир таваҷҷуҳи татқиқотчиёни кишварҳои гуногуни ҷаҳонро ба худ ҷалб кард. Диоксоланҳои дар асоси глитсерин ҳосилшуда ҳамчун реагентҳо барои синтези органики, барои ҳосил кардани пайвастаҳои аз ҷиҳати биологӣ ғаёло истифода мешаванд. Эфирҳои сиклии глитсерин, аз ҷумла 1,3-диоксоланҳо, инчунин қобилияти хуби биологӣ дошта,

дар асоси онҳо як қатор доруҳои самарабахш ҳосил шудаанд, ки дар соҳаи тибб бо муваффақият истифода мешаванд. Дар мақолаи мазкур роҳҳои синтези пайвастиҳои нави  $\alpha$  - моноэфирҳои глицерин бо фурфурол ва оксиди кобалт омӯхта шудаанд. 2-фурил-4-алкоксиметил-1,3-диоксоланҳо, ки мо ба даст овардем ҳамчун чӯзи диени дар таомули Дилс-Алдер истифода намудем. Дар асоси эфирҳои моноалкилии глицерин як қатор 1,3-диоксоланҳо ва глицератҳои кобалт тавлиф карда шуданд. Таркиб ва сохти онҳо бо усулҳои нави таҳлили элементарӣ ва инструменталии исбот карда шуданд. Усулҳои ҳосил кардани глицерин аз ашёи хоми гуногун дида баромада шудаанд. Дар доираи васеи ин пайвастиҳо барои татқиқот ба сифати маводи аввалия  $\alpha$ -моноэфирҳои глицерин истифода мешаванд, ки ду гуруҳи ғабӯли гидрооксиди доранд. Таваҷҷуҳи калон ба тавлифи саноати глицерин ва ҳосилаҳои онҳо дода шудааст, ки дар натиҷа ҳосилаҳои эфирҳои содаи гетеросиклии 2-фурил-4-алкоксиметил-1,3-диоксоланҳо ва глицератҳои кобалт тавлиф карда шуда, инчунин роҳҳои татқиқи онҳо дар амал омӯхта шуданд.

**Калидвожаҳо:** тавлиф,  $\alpha$ -моноэфирҳои глицерин, эфирҳо, фурфурол, 1,3-диоксолан, оксиди кобалт, реаксияи Дилс-Алдер, ғабӯлияти фармакологӣ, сабзиш, стимулятор, ингибитор, катализатор, ҳалқунандаҳо.

### СИНТЕЗ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ ГЛИЦЕРИНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Глицерин по особенностям строения и реакционной способности занимает важное место среди многоатомных спиртов. Используя это, в последнее время удалось осуществить ряд химических превращений, которые привели к синтезу его новых функциональных производных. Синтез новых производных 1,3-диоксолана в последнее время все больше привлекает внимание исследователей в различных странах мира. Диоксоланы на основе глицерина используются в качестве реагентов для тонкого органического синтеза, для получения биологически активных соединений. Циклические эфиры глицерина, т.е. 1,3-диоксоланы также обладают выраженной биологической активностью и на их основе был создан ряд эффективных лекарственных препаратов, которые нашли успешное применение в медицинской практике. В данной статье изучены методы синтеза новых соединений  $\alpha$  - моноэфиров глицерина с фурфурами и оксидом кобальта. Полученные нами 2-фурил-4-алкоксиметил-1,3-диоксоланы, использованы в качестве диенового компонента в реакции Дильса-Альдера. На основе моноалкиловых эфиров глицерина синтезирован ряд 1,3-диоксоланов и глицератов кобальта. Состав и строение доказаны современными методами элементного и инструментального анализа. Рассмотрены методы получения глицерина из различных видов сырья. Широкий спектр областей применения этих соединений для проведения исследований в качестве исходных веществ использованы  $\alpha$ -моноэфиры глицерина, имеющие две активные гидроксильные группы. Большое внимание уделено промышленному получению синтетического глицерина и его производных, в результате чего получили простые эфиры гетероциклических производных соединений 2-фурил-4-алкоксиметил-1,3-диоксоланы и глицератов кобальта. Также проводимся поиск путей их практического применения.

**Ключевые слова:** синтез,  $\alpha$ -моноэфиров глицерин, простые эфиры, фурфурол, 1,3-диоксолан, оксид кобальт, реакция Дильс-Альдер, фармакологическая активность, всхожесть, стимулятор, ингибитор, катализатор, растворители.

### SYNTHESIS OF CYCLIC GLYCEROL DERIVATIVES AND THE STUDY OF THEIR BIOLOGICAL PROPERTIES

Glycerin occupies an important place among polyhydric alcohols in terms of structural features and reactivity. Using this, it has recently been possible to carry out a number of chemical transformations that have led to the synthesis of its new functional derivatives. The synthesis of new derivatives of 1,3-dioxolane has recently attracted the attention of researchers in various countries of the world. Dioxolanes based on glycerol are used as reagents for fine organic synthesis, to obtain biologically active compounds. Cyclic ethers of glycerol, i.e. 1,3-dioxolanes also have a pronounced biological activity and on their basis a number of effective drugs have been created that have been successfully used in medical practice. In this article, methods for the synthesis of new compounds of  $\alpha$  - monoesters of glycerol with furfurals and cobalt oxide are studied. The 2-furyl-4-alkoxymethyl-1,3-dioxolanes obtained by us were used as a diene component in the Diels-Alder reaction. A number of 1,3-dioxolanes have been synthesized on the basis of glycerol monoalkyl ethers and cobalt glycerates; their composition and structure have been proven by modern methods of elemental and instrumental analysis. Methods for obtaining glycerin from various types of raw materials are considered. A wide range of applications of these compounds for research as starting materials used glycerol  $\alpha$ -monoesters having two active hydroxyl groups. Much attention is paid to the industrial production of synthetic glycerol and their derivatives, as a result, ethers of heterocyclic derivatives of the compound 2-furyl-4-alkoxymethyl-1,3-dioxolanes and cobalt glycerates were obtained. Also search for ways of their practical application.

**Keywords:** synthesis,  $\alpha$ -monoesters glycerol, ethers, furfural, 1,3-dioxolane, cobalt oxide, Diels-Alder reaction, pharmacological activity, germination, stimulant, inhibitor, catalyst, solvents.

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Олимов Рахмонали Амоналиевич – номзади илмҳои химия, дотсент, декани факултети муҳандисӣ ва технологияҳои муосири истеҳсолии Донишгоҳи давлатии Данғара. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ноҳияи Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 900-23-15-73. **E-mail:** olimovr1976@mail.ru.

**Сведения об авторе:** Олимов Рахмонали Амоналиевич – кандидат химических наук, доцент, декан факультета инженерии и современных производственных технологий Дангаринского государственного университета. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, Дангаринский район, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 900-23-15-73. **E-mail:** olimovr1976@mail.ru.

**Information about the author:** Olimov Rakhmonali Amonalievich – candidate of chemical sciences, ass. professor, dean of the faculty of engineering and modern manufacturing technologies, Dangara state University. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi Street, 25. **Phone:** (+992) 900-23-15-73. **E-mail:** olimovr1976@mail.ru.



**МУНДАРИЧА**  
**МАТЕМАТИКА**

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Комилиён Ф.С., Саидзода И.М.</b> Усулҳои баҳисобгирии таъсири омилҳои табиӣ ва антропогенӣ дар амсилаи математикии ташаккул ва рушди марҳилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал                                             | 5  |
| <b>Зарифзода С.Қ., Розиков М.Т.</b> Тадқиқи муодилаҳои интегро-дифференсиалии тартиби якуми моделӣ бо се нуктаи махсус                                                                                                  | 19 |
| <b>Ниматова М.Ҳ.</b> Моделсозии компютери маъсалаи баҳодихӣ ва муҳофизати намудҳои моҳиҳои нодир                                                                                                                        | 31 |
| <b>Ёров М.Р., Комилиён Ф.С.</b> Татбиқи системаи хизматрасонии оммавӣ дар коркарди дархостҳои онлайнӣ                                                                                                                   | 42 |
| <b>Одиназода С.А., Раҳмон П.Қ., Ғаниев Ч.Т.</b> Модели математикии шикор барои қиматҳои гуногуни квотаи муқарраршуда                                                                                                    | 54 |
| <b>Шерматов Н., Мусоев С.</b> Алгоритми ҳисоб кардани ададҳои тавсифии бузургии тасодуфӣ                                                                                                                                | 64 |
| <b>Ҷӯраев Х.Ш., Ниёзов Ш.Д.</b> Пешниҳоди моделии ҳалли ошуби сингулярии ҳодисаи ғайриватсионии табодулотӣ гармӣ дар муҳити номаҳдуд ҳангоми мавҷуд будани манбаъҳои доимии беруна бо усули табдилдиҳии интегралӣ Фурйе | 72 |

**ФИЗИКА**

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Султонов Н., Ҳукматов А., Нозимов О., Содиков Ф.</b> Тадқиқи часпаки ва муқовимати ҳоси маҳлулҳои обӣ                                        | 84  |
| <b>Нозиров Д.Ф., Хофер Ч., Раҳимӣ Ф., Абдуллаев С.Ф., Бобоева Н.Ч.</b> Баъзе натиҷаҳои омӯзиши атмосфера бо истифодаи Лидар дар ш. Душанбе      | 96  |
| <b>Нозиров Д.Ф., Хофер Ч., Раҳимӣ Ф., Абдуллаев С.Ф., Бобоева Н.Ч.</b> Баъзе натиҷаҳои омӯзиши атмосфера бо истифодаи Лидар дар ш. Душанбе      | 107 |
| <b>Абдурахимов Б.Х., Одинаев К.Н., Муминов А.О.</b> Ташаккули гидрологияи дарёи Ғунт вобаста ба тақсмоти фазои боришоти мавсимӣ                 | 120 |
| <b>Ҳочибоева М.Ҳ., Муминов А.О., Луғмонова Ш.О.</b> Эвапотранспиратсияи масоҳатҳои назди соҳилии обанборҳои водигӣ дар мисоли обанбори Қайроқум | 129 |
| <b>Раҳимӣ Ф., Абдуллаев С.Ф., Фарҳод Ш., Холмуродов Ф., Азизшоев К.М.</b> Таркиби унсурии хокҳои минтақаи кӯҳистони Тоҷикистон                  | 138 |

**ХИМИЯ**

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Бобизода Ғ.М., Ҳалимов М.М., Бегмуродов Р.И.</b> Ҳосил намудани дипептидҳои триптафандор-лигандҳои комбинатсияи пайвастаҳои координатсионии руҳ ва экстракти решаи тиллоӣ | 153 |
| <b>Олимов Р.А.</b> Тавлифи ҳосилаҳои сиклии глитсерин ва омӯзиши ҳосиятҳои биологии он                                                                                       | 166 |

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

|                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Комилиён Ф.С., Саидзода И.М.</b> Методы учета влияния природно-антропогенных факторов в математическую модель формирования и развития этапов жизни медоносной пчелиной семьи                                                           | 5  |
| <b>Зарифзода С.К., Розиков М.Т.</b> Исследование модельного интегро-дифференциального уравнения первого порядка с тремя особыми точками                                                                                                   | 19 |
| <b>Ниматова М.Х.</b> Компьютерное моделирование проблемы оценки и охраны редких видов рыб                                                                                                                                                 | 31 |
| <b>Ёров М.Р., Комилиён Ф.С.</b> Внедрение системы массового обслуживания при обработке онлайн-заявок                                                                                                                                      | 42 |
| <b>Одиназода С.А., Рахмон П.К., Ганиев Ч.Т.</b> Математическая модель охоты для разных значений квоты                                                                                                                                     | 54 |
| <b>Шерматов Н., Мусоев С.</b> Алгоритм вычисления числовых характеристик случайной величины                                                                                                                                               | 64 |
| <b>Джураев Х.Ш., Ниёзов Ш.Д.</b> Модельное представление решений сингулярных возмущенных нестационарных явлений теплообмена в неограниченных средах при наличии внешнего постоянного источника методом интегрального преобразования Фурье | 72 |

### ФИЗИКА

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Султонов Н., Хукматов А., Нозимов О., Содиков Ф.</b> Исследование вязкости и удельное сопротивление водных растворов                                                     | 84  |
| <b>Нозиров Д.Ф., Хофер Дж., Рахими Ф., Абдуллаев С.Ф., Бобоева Н.Дж.</b> Исследование параметров атмосферы г. Душанбе с помощью Лидара                                      | 96  |
| <b>Нозиров Д.Ф., Хофер Дж., Рахими Ф., Абдуллаев С.Ф., Бобоева Н.Дж.</b> Некоторые результаты лазерного зондирования атмосферы с помощью Лидара в г. Душанбе                | 107 |
| <b>Абдурахимов Б.Х., Одинаев К.Н., Муминов А.О.</b> Формирование гидрологии реки Гунт в зависимости от пространственного распределения сезонных осадков                     | 120 |
| <b>Ходжибоева М.Х., Муминов А.О., Лугмонова Ш.О.</b> Изучение процессов эвапотранспирации в зонах воздействия долинных водохранилищ на примере Кайраккумского водохранилища | 129 |
| <b>Рахими Ф., Абдуллаев С.Ф., Фарход Ш., Холмуродов Ф., Азизшоев К.М.</b> Элементный состав почв горного региона Таджикистана                                               | 138 |

### ХИМИЯ

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Бобизода Г.М., Халимов М.М., Бегмуродов Р.И.</b> Получение триптофансодержащих дипептидов-лигандов комбинации координационных соединений цинка и экстракта Золотого корня | 153 |
| <b>Олимов Р.А.</b> Синтез циклических производных глицерина и изучение их биологических свойств                                                                              | 166 |

## CONTENTS

### MATHEMATICS

|                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Komiliyon F.S., Saidzoda I.M.</b> Methods for accounting for the influence of natural and anthropogenic factors in the mathematical model for the formation and development of the life stages of a honey bee family                           | 5  |
| <b>Zarifzoda S.Q., Rozikov M.T.</b> Investigation of the model first order integro-differential equation with three singular points                                                                                                               | 19 |
| <b>Nimatova M.H.</b> Computer modeling of the problem of evaluation and protection of rare fish species                                                                                                                                           | 31 |
| <b>Yorov M.R., Komiliyon F.S.</b> Introduction of the queue service system in processing online applications                                                                                                                                      | 42 |
| <b>Odinazoda S.A., Rahmon P.Q., Ganiev Ch.T.</b> Mathematical model of hunting for different values of the quota                                                                                                                                  | 54 |
| <b>Shermatov N., Musoev S.S.</b> Algorithm for calculation of numerical characteristics of a random value                                                                                                                                         | 64 |
| <b>Juraev Kh.Sh., Niyzov Sh.D.</b> Model representation of solutions to singular perturbed nonstationary phenomenon heat transfer in unlimited media in the presence of an external constant source by the method of integrated Fourier transform | 72 |

### PHYSICS

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Sultonov N., Khukmatov A.I., Nozimov O., Sodikov F.Kh.</b> Study of viscosity and specific resistance of water solutions                                      | 84  |
| <b>Nozirov D.F., Julian H., Rakhimi F., Abdullaev S.F., Boboeva N.J.</b> Some results of laser sounding of the atmosphere using polly-XT Lidar in Dushanbe       | 96  |
| <b>Nozirov D.F., Julian H., Rakhimi F., Abdullaev S.F., Boboeva N.J.</b> Some results of laser sounding of the atmosphere using Lidar in Dushanbe                | 107 |
| <b>Abdurahimov B.H., Odinaev Q.N., Muminov A.O.</b> Formation of the Gunt river hydrology depending on the spatial distribution of seasonal precipitation        | 120 |
| <b>Khodjiboeva M.Kh., Muminov A.O., Lugmonova Sh.O.</b> Evapotranspiration of coastal territories to valley reservoirs on the example of the Kairakkum reservoir | 129 |
| <b>Rakhimi F., Abdullaev S.F., Farhod Sh., Kholmurodov F., Azizshoev K.M.</b> Elemental composition of soils in the mountain region of Tajikistan                | 138 |

### CHEMISTRY

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Bobizoda G.M., Halimov M.M., Begmurodov R.I.</b> Obtaining tryptofan-containing dipeptides-ligands of a combination of zinc coordination compounds and Golden root extract | 153 |
| <b>Olimov R.A.</b> Synthesis of cyclic glycerol derivatives and the study of their biological properties                                                                      | 166 |

## 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](http://www.vestnik-tnu.com)).

---

**ВЕСТНИК  
ТАДЖИКСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
Серия естественных наук**

**2023. №2.**

Над номером работали:

Ответственный редактор: М.Ибодова

Редактор серии естественных наук: М.Халиков

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](http://www.vestnik-tnu.com)

E-mail: [vestnik-tnu@mail.ru](mailto:vestnik-tnu@mail.ru)

Тел.: (+992 37) 227-74-41

Отпечатано в типографии ТНУ  
734025, г.Душанбе, ул.Айни, 32.  
Формат 70x108/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Тираж 100 экз. Уч. изд. л. 8,5, усл. п.л. 8.  
Подписано в печать 30.05.2023.