

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM,
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI**

TAHRIRIYAT HAY’ATI

Bosh muharrir: prof. Nabiyeu D.H.

Bosh muharrir o‘rinbosari:

f.-m.f.d. Bekpulatov I.R.

Mas’ul kotib: dots. Ne’matova Y.O.

Tahririyat hay’ati a’zolari:

prof. Bahriddinova B.M.

prof. Bo‘riyev O.B.

prof. Yoziyev L.Y.

prof. Jabborov A.M.

prof. Jabborov X.J.

f.-m.f.d. Imomov A.A.

prof. Kamolov L.S.

prof. Kuchboyev A.E.

prof. Mengliyev B.R.

prof. Normurodov M.T.

prof. Nurillayeva Sh.N.

prof. Nurmanov S.E.

p.f.d. Oripova N.X.

prof. Ochilov A.O.

prof. Tojiyeva G.N.

prof. To‘rayev D.T.

prof. Umirzakov B.Ye.

prof. Xayriddinov B.X.

prof. Xolmurodov A.E.

prof. Choriyev S.A.

prof. Shodiyev R.D.

prof. Shodmonov N.N.

prof. Erkayev A.P.

prof. Ernazarova G.X.

prof. Eshov B.J.

prof. Qurbonov Sh.Q.

prof. Qo‘liyev B.T.

prof. Bekmurodova G.H.

prof. Imanova G.T.

prof. Bobonazarov G‘.Y.

prof. Shukurov O.M.

prof. Yusupova A.Sh

f.f.d. Imomova G.M.

dots. Ro‘ziyev B.X.

dots. Eshqorayeva N.G‘.

dots. Xolmirzayev N.S.

dots. Hamrayeva Y.N.

dots. Rizayev B.X.

dots. Nashirova Sh.B.

f.f.f.d. Musayeva D.T.

**Jurnal 2009-yilda
tashkil etilgan.**

MUROJAAT UCHUN MANZIL:

Pochta manzili: 180003, Qarshi,
Ko‘chabog‘, 17. Qarshi davlat universiteti,
Filologiya fakulteti binosi, 107-xona.

Telefon: 97-222-10-80

TelegramID:

https://t.me/Qardu_Xabarlari2024

Elektron pochta: qardu_xabarlari@mail.ru

Veb-sayt:

<https://qarshidu.uz/oz/page/ilmiy-jurnal-NEW>

2025
2(2)

QarDU xabarlari
Ilmiy-nazariy, uslubiy jurnal

Aniq fanlar

Muassis: Qarshi davlat universiteti
**Jurnal Qashqadaryo viloyati Matbuot
va axborot boshqarmasi tomonidan**

2010.17.09 da

**№ 14–061 raqamli guvohnoma
bilan qayta ro‘yxatdan o‘tgan.**

Musahhihlar:

Shodmonova D.E.

Tursunboyev B.N.

Pardayeva D.R.

Sahifalovchi:

Yuldoshev D.N.

Texnik muharrir:

Raxmatov M.

Jurnal O‘zbekiston Respublikasi
Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy
attestatsiya komissiyasi Rayosatining
qarorlari bilan fizika-matematika, kimyo,
biologiya, tarix, falsafa, siyosatshunoslik,
filologiya, pedagogika-psixologiya va
iqtisod fanlari bo‘yicha doktorlik
dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini
chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar
ro‘yxatiga kiritilgan.



**Yiliga 4 marta
chop etiladi.**

Jurnaldan olingan materiallarga “QarDU
xabarlari” jurnalidan olindi”, degan havola
berilishi shart. Mualliflardan kelgan materiallar
egalariga qaytarilmaydi.

MUNDARIJA

FIZIKA-MATEMATIKA

R. Turniyazov A. Ajabov I. Nishonov K. Qayumova N. Bobilov Sh. Jumanov H. Soatov Umumiy kiselev qora o'ralari atrofida zarrachalarning harakati.....	3
Ташатов А., Нормуродов Д., Ишмуродов Э., Хакбердиева И. Исследование скрытых наноразмерных фаз и слоев BaSi ₂ , созданных в приповерхностной области Si.....	6
Z.Sh. Shaymardanov ZnO nanorod va nanokristallarining nochiziqli optik xususiyatlarini o'rganish.....	10
Некбоев А. Смещение полос в спектрах ик поглощения метанола под воздействием окружения: сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных.....	15
Muminov I.A. Electron and hole concentration in intrinsic semiconductors.....	20
Зайнабидинов С., Мансуров Х., Эргашев Б., Хотамов М. Исследование структурных неоднородностей, формируемых при участии кислорода в монокристаллическом кремнии.....	24
Boboyev A., Mahmudov Sh., Normurodov D., Ibrohimov Z., Ibrohimov S. S va Rh atomlari bilan legirlangan kremniy asosidagi p^+-i-p^+ hamda p^+-i-n^+ tuzilmalarning elektrofizik va fotoelektrik xossalari.....	30
Maripov I.I., Xasanov S.F., Yuldashev Y.T. Al-pGe(p-i-n)-Au va Au-nSi-Al struktura asosidagi ionlashtiruvchi nurlarni aniqlovchi detektorlarning texnologik va elektrofizik xususiyatlari.....	37
Ш.Хасанов, У.Тухтаев, Ж.Бахрамов. Радиационная безопасность в протонной терапии: измерения и анализ.....	42
Ismoilova H.M., Rajabov E.B., Atajanova Z.J. Tarkibida amino guruh tutgan mahalliy sorbentga Cr(III) ionining sorbsiya kinetikasi.....	46
U.Erkaboyev, M.Dadamirzayev, N.Sayidov, Q.Temirov. Kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning ta'qiqlangan zona kengligiga deformatsiyaning ta'siri.....	51
Raxmonov Z.R., Yarmetova D.I. Ko'p o'lchovli fazoda manba va chiziqli chegaraviy shartl bilan berilgan issiqlik o'tkazish masalasining avtomodel yechimining asimptotikalari.....	56
Yuldashev I.G'., Joldasbayeva R. Kichik o'lchamli yechiluvchan Li algebralarining lokal differensiallashlari.....	60
Хасанов И.И. Шодиев О.Т. Начально-краевая задача для уравнения диффузии дробного порядка.....	66
Usmonov D.A., Omonova A.N. Ikki argumentli mittag-leffler tipidagi funksiyasining bir kasr tartibli integro-differensial tenglama uchun qo'yilgan koshi masalasiga tatbiqi haqida.....	71
Bekpulatov I., Norboyeva F. Ion -plazma usuli yordamida Mn ₄ Si ₇ nanoplyonkasini hosil qilish va uning termoelektrik va elektrofizik xossalari o'rganish.....	76
Raxmonov Z.R., Zaripova A.R. Nochiziqli chegaraviy shartlarga ega reaksiya-diffuziya masalasining avtomodel yechimi asimptotikasi.....	81

KIMYO

Ablakulov L.Q., Ikramov A., Ziyadullayev O.E., Raxmatov S.M. Ayrim atsetilen diollari va benzil spirti asosida oddiy efirlar sintezi.....	88
A.T.Xudayberdiyev O.B. Mamatqulov Pachkamar suv ombori havzasidagi ba'zi jonotlar radioaktivligi.....	93

Курбонова Ф.Н., Махмудов С.О. Использование нового местного сырья узкопального рака (<i>PONTASTACUS LEPTODACTYLUS</i>) в производстве природных биополимеров хитина и хитозана.....	98
Tojiyeva S.N., Kamolov L.S. Stachybotrys chartarum zamburug'larining ikkilamchi metabolitlari miqdorining ozuqa muhitga bog'liq o'zgarishi.....	102
Usmonova Y.I. Obtaining epoxy paints and varnishes in a hardening environment.....	107

BIOLOGIYA

Урунова Г., Утемуратова Ф., Муйдинов К., Камилов Б. Показатели технологического качества товарного африканского сома, выращенного в бассейнах с подачей термальной воды.....	111
Юлдашов М., Носиров О., Нурматова Р., Камилов Б. Морфологическая характеристика товарного карпа, <i>CYPRINUS CARPIO</i> , в прудах Бухарской области.....	115
Toshov U., Ruziyev B.X. Janubiy o'zbekiston sudralib yuruvchilari sestodalarining (<i>CESTODA RUDOLPHI</i> , 1809) taraqqiyot sikli.....	119
Berdiyev M.F., Yoziyev L.H. Qashqadaryo sharoitiga introduksiya qilingan <i>SPIRAEA</i> L. navlarining fenologiyasi.....	123
Jamalova D.N., Kurbaniyazova G.T., Karimov B.Q., Yusupov Z.O. O'zbekistonning markaziy hududlarida <i>FERULA</i> L. turkumi endem turlarining geofazoviy tarqalishi va kelib chiqish markazlari.....	128
Omonov O.E. Katta va kichik O'radaryo havzalari florasining kamyoblilik darajalari bo'yicha tahliliga doir.....	132
Nurmatova D.M., Mavlyanov O., Narzullayev S.B. Olcha (<i>PRUNUS CERASUS</i> L.) nematodafaunasining turlar tarkibi va biotoplar bo'yicha tarqalish xususiyatlari.....	140
Samatova Sh.A., Shaxriddinova M.Z. <i>FICUS ELASTICA</i> roxb. ex hornemning Qarshi vohasi sharoitida ko'paytirishning samarali usullari.....	144
Baratova Sh.S., Buranova G.B. Qishloq sharoitida emizikli ayollarning ayrim minerallar bilan fiziologik ta'minlanishi.....	148
Hazratova H.N. Qishloq maktablari sharoitida kichik maktab yoshidagi o'quvchilarining ayrim jismoniy rivojlanish ko'rsatkichlari.....	152
Avliyoqulova M.B., Jangabayeva R.K., Raxmatullayev Y.Sh. Qarshi va Termiz shahar maktablari o'quvchilarning ayrim antropometrik ko'rsatkichlarini qiyosiy xarakteristikasi.....	155
Yoziyev L.H., Kattaboyeva G.S., Rabbimova Z. O'zbekistonda allergen anemofil taksonlar hamda aeropalinologiya bo'yicha tadqiqotlar va dunyo tajribasi.....	159

EKOLOGIK MUAMMOLAR VA YECHIMLAR

Bazarova N.Sh. Atrof-muhit muhofazasida ekologik ta'limning dolzarbligi va huquqiy jihatlari.....	165
--	-----

UMUMIY KISELEV QORA O‘RALARI ATROFIDA ZARRACHALARNING HARAKATI

R. Turniyazov

SamDU Muhandislik fizikasi instituti, dotsent

A. Ajabov

Axborot texnologiyalari va menejment universiteti, dotsent

I. Nishonov

Samarqand davlat universiteti, doktorant

K. Qayumova

O‘zbekiston-Finlandiya pedagogika instituti, o‘qituvchi

N. Bobilov

Axborot texnologiyalari va menejment universiteti, o‘qituvchi

Sh. Jumanov

Qarshi davlat universiteti, o‘qituvchi

H. Soatov

Shahrisabz davlat pedagogika instituti, stajyor-o‘qituvchi

isomiddinniwonov96@gmail.com

UDK 524.882 (530.12)

Annotatsiya. Kiselev qora o‘ralari atrofida zarralarning harakati astrofizik tadqiqotlar uchun muhim sohalaridan biridir. Qora o‘ralar juda kuchli tortishish maydonlariga ega bo‘lib, o‘z atrofidagi zarralarga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Qora o‘ralar atrofidagi mavjud zarralarning harakatini o‘rganishga bag‘ishlangan ilmiy tadqiqotlar olib borish bugungi kunda dunyo miqyosida eng dolzarb mavzular qatorida turadi. Umuman. Qora o‘ralar haqidagi ma‘lumotlar kam bo‘lgani uchun ham, bu kabi tadqiqotlar fan olamida qiziqarli hisoblanadi.

Ushbu maqolada keltirilgan tadqiqot natijalari qora o‘ralar yaqinidagi zarralarning qanday harakatlanishini, ularning trayektoriyalarini o‘zgartiradigan o‘zaro ta‘sir va dinamikalarini tushunishga qaratilgan. Raqamli metodlar va modellashtirishni qo‘llab, zarralarning harakati tahlil qilingan va qora o‘ralar ta‘siri baholangan. Olingan natijalar qora o‘ralar dinamikasini va ularning kosmik muhitga ta‘sirini tushunishda yordam berishi mumkinligi ko‘rsatilgan.

Kalit so‘zlar: Kiselev qora o‘rasi, metrik funksiya, gorizont, nochiziqli, parametr.

PARTICLE MOTION AROUND GENERAL KISELEV BLACK SURFACES

Abstract. The motion of particles around Kiselev black holes is one of the most important areas of astrophysical research. Black holes have very strong gravitational fields, which significantly affect the particles around them. Scientific research devoted to studying the motion of particles around black holes is one of the most relevant topics in the world today. In general, due to the scarcity of information about black holes, the attention paid to such studies in the scientific community is high.

The research results presented in this article are aimed at understanding how particles move near black holes, the interactions and dynamics that change their trajectories. Using numerical methods and modeling, the motion of particles was analyzed and the influence of black holes was evaluated. It is shown that the results obtained can help in understanding the dynamics of black holes and their impact on the cosmic environment.

Keywords: Kiselev black hole, metric function, horizon, nonlinear, parameter.

Kirish Super massiv qora o‘ralar [1-2] hozirgi kunda juda katta qiziqishlarga sabab bo‘layotgan astrofizik ob‘yektlardir. Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasiga asosan qora o‘ralar kuchli gravitatsion maydon hosil qilganligi uchun fazo – vaqtni egrilantiradi. Bu egrilanishni esa *metrik funksiya* skalyar invariantlar yordamida ifodalash mumkin. Kiselev qora o‘ralari uchun dunyo chizig‘i quyidagicha [3]:

$$dS^2 = -f(r) dt^2 + f^{-1}(r) dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\varphi^2 \quad (1)$$

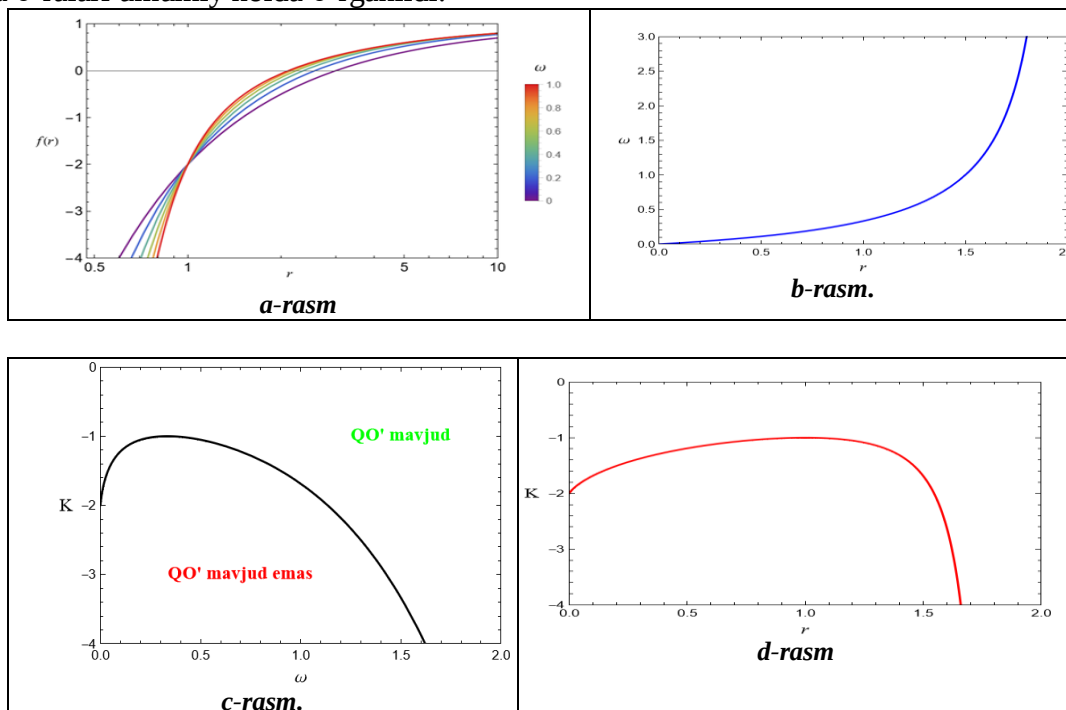
Bu yerda:

$$f(r) = 1 - \frac{2M}{r} - \frac{K}{r^{1+3w}} \quad (2)$$

M – qora o‘raning massasi, K – metrik funksiyaga bog‘liq kattalik, w – bosim va zichlik o‘rtasidagi bog‘liqlik, ya‘ni $p = w\rho$, r – esa orbita radiusi. Kiselev qora o‘ralari juda

umumiy model hisoblanadi. Masalan, $K=0$ va $w=0$ bo'lganda Shvarsschild, $K=-Q^2$ va $w=1/3$ bo'lganda Rizner-Nordsrum metrik funksiyasiga mos keladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu ishda: K va w parametrlarga bog'liq holda Kiselev qora o'ralari umumiy holda o'rganildi.



1-rasm: w parametrning turli qiymatlarida gorizontning o'zgarish (a), K va w parametrning tanlangan qiymatlarida qora o'raning mavjudligi yoki mavjud emasligi (b), w va K parametrlarining radial koordinataga bog'liqligi (c va d rasmlar).

Natijalar va muhokama. Olingan natijalarning grafiklarida w va K parametrlarning musbat qiymatlari tanlab olindi. w parametrning berilgan oraliqda qiymatining oshib borishi bilan gorizont ham shunchalik qora o'ra tomonga siljishi aniqlandi. Qora o'raning yuqoridagi ikki parametrlarining qanday qiymatlarida mavjud ekanligi va mavjud emasligini ko'rish mumkin. Buni quyidagicha ifoda bilan olish mumkin [4-5]:

$$f(r) = 0, \quad f'(r) = 0 \quad (3)$$

Ifoda (3) dan w va K parametrlarning radial koordinataga bog'liqligini ham olish mumkin. Bu bog'liqlik esa 1 – rasmning pastki ko'k va qizil chiziqlari bilan berilgan.

Xulosa. Ushbu ishda hozirgi kungacha o'z dolzarbligini yo'qotmagan Kiselev qora o'ralari uchun umumiy metrik funksiyasi o'rganildi. Metrik fuksiyaning qiymati 0 ga teng bo'lgan holatda hodisalar gorizonti kuzatilib, ushbu masofa w qiymatning oshishi bilan nohiziq ravishda qora o'raga yaqinlashishi ma'lum bo'ldi. Shuni ham ta'kidlash lozimki, K va w parametrlarning berilgan qiymatlarida w ning faqatgina noldan katta bo'lgan holatlarida, K ning esa manfiy qiymatlarining ayrimlarida qora o'ralar mavjud bo'lib ayrim qiymatlarida mavjud bo'lmasa, musbat qiymatlarida esa qora o'raning mavjudligi xulosa qilindi (1-a rasm). Hodisalar gorizontining kuzatilish masofasi w ga kvadratik ravishda ortishi aniqlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. D. R. Pasham, T. E. Strohmayer, and R. F. Mushotzky, Nature 513, 74 (2014), arxiv:1501.03180 [astro-ph.HE]
2. A. M. Ghez, S. Salim, N. N. Weinberg, J. R. Lu, T. Do, J. K. Dunn, K. Matthews, M. R. Morris, S. Yelda, E. E. Becklin, T. Kremenek, M. Milosavljevic, and J. Naiman, Astrophys. J. 689, 1044 (2008), arxiv:0808.2870.
3. V. V. Kiselev, Classical and Quantum Gravity 20, 1187 (2003), arxiv:gr-qc/0210040 [gr-qc].

4. B. Rahmatov, M. Zahid, J. Rayimbayev, R. Rahim, and S. Murodov, Chinese Journal of Physics (2024), <https://doi.org/10.1016/j.cjph.2024.09.002>.
5. J. Rayimbayev, A. Abdujabbarov, M. Jamil, B. Ahmedov, and W.-B. Han, Phys. Rev. D 102, 084016 (2020), arXiv:2010.15079 [gr-qc].
6. J. Rayimbayev, K.F. Dialektopoulos, F. Sarikulov, and A. Abdujabbarov, European Physical Journal C 83, 572 (2023), arxiv:2307.03019 [gr-qc].
7. S. Murodov, K. Badalov, J. Rayimbayev, B. Ahmedov, and Z. Stuchlík, Symmetry 16, 109 (2024).
8. S. Murodov, J. Rayimbayev, B. Ahmedov, and A. Hakimov, Symmetry 15, 2084 (2023), arxiv:2310.08046 [gr-qc].
9. S. Murodov, J. Rayimbayev, B. Ahmedov, and E. Karimbayev, Universe 9, 391 (2023).
10. C. E. Mota, L. C. N. Santos, F. M. da Silva, C. V. Flores, T. J. N. da Silva, and D. P. Menezes, Classical and Quantum Gravity 39, 085008 (2022).
11. V. V. Kiselev, Classical and Quantum Gravity 20, 1187 (2003), arxiv:gr-qc/0210040 [gr-qc].
12. Y. Heydarzade and F. Darabi, Physics Letters B 771, 365 (2017), arxiv:1702.07766 [gr-qc].
13. R. Arnowitt, S. Deser, and C. W. Misner, General Relativity and Gravitation 40, 1997 (2008), arxiv:gr-qc/0405109 [gr-qc].
14. A. Komar, Physical Review 113, 934 (1959).
15. M. Shibata, K. Uryu, and J. L. Friedman, Phys. Rev. D 70, 044044 (2004), arxiv:gr-qc/0407036 [gr-qc].

ИССЛЕДОВАНИЕ СКРЫТЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ И СЛОЕВ BaSi₂, СОЗДАНЫХ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ Si

Ташатов Алланазар

Каршинский государственный университет, профессор

ORCID 0009-0006-0164-829X

atashtov@mail.ru

Нормуродов Дилшод

Каршинский государственный университет, доцент

ORCID 0009-0000-7454-5917

normurodovdilshod2110@gmail.com

Ишмуродов Элмурод

Каршинский государственный университет, стажёр-исследователь

ORCID 0009-0008-0502-3961

elmurodishmurodov70@gmail.com

Хакбердиева Ирода

Каршинский государственный университет, магистр 1- курс

ORCID 0009-0001-4772-8440

irodahaqberdiyeva16@gmail.com

УДК 533.537

Аннотация. В работе определены оптимальные режимы ионной имплантации и отжига для получения скрытых наноразмерных фаз и слоев BaSi₂ в приповерхностной области Si. С использованием метода спектроскопии поглощения света оценены ширина запрещенных зон и степень покрытия слоя наночастицами BaSi₂. Установлено, что после прогрева Si, имплантированного ионами Ba⁺ с E₀ = 30 кэВ нанокристаллические фазы в виде сфер формировались на глубине 25 ÷ 30 нм. В обоих случаях до D ≈ 10¹⁵ см⁻² эти фазы имеют форму близкую к сферической. С дальнейшим ростом D границы соседних фаз перекрывают друг – друга, начинают образовываться слои BaSi₂. Показано, что при дозе D ≤ 5·10¹⁵ см⁻² формируется наноразмерная фаза BaSi₂ и в них проявляются квантово размерные эффекты. При больших дозах D = D_n = 10¹⁷ см⁻² формируется нанослой BaSi₂ толщиной ~ 10 ÷ 12 нм.

Ключевые слова: ширина запрещенной зоны, нанослой, скрытая наноразмерная фаза, ионная имплантация, морфология, нагрев, параметры энергетической зоны, тонкая пленка, верхняя граница валентной зоны.

RESEARCH ON HIDDEN NANOSIZED PHASES AND LAYERS OF BaSi₂ FORMED IN THE NEAR-SURFACE AREA OF SI

Abstract. This work defines the optimal ion implantation and annealing regimes for the formation of hidden nanosized phases and layers of BaSi₂ in the near-surface area of Si. Using light absorption

spectroscopy, the bandgap width and the degree of coverage of the layer by BaSi₂ nanophases were evaluated.

It has been established that after heating Si implanted with Ba⁺ ions at E₀ = 30 keV, nanocrystalline phases in the form of spheres are formed at a depth of 25 to 30 nm. In both cases, up to a dose of D ≈ 10¹⁵ sm⁻², these phases maintain a shape close to spherical. As the dose D increases further, the boundaries of neighboring phases overlap, and BaSi₂ layers begin to form.

It is shown that at doses D ≤ 5·10¹⁵ sm⁻², a nanosized phase of BaSi₂ forms, and quantum size effects are observed in them. At higher doses D=D_n=10¹⁷ sm⁻², a BaSi₂ nanolayer forms with a thickness of approximately 10 to 12 nm.

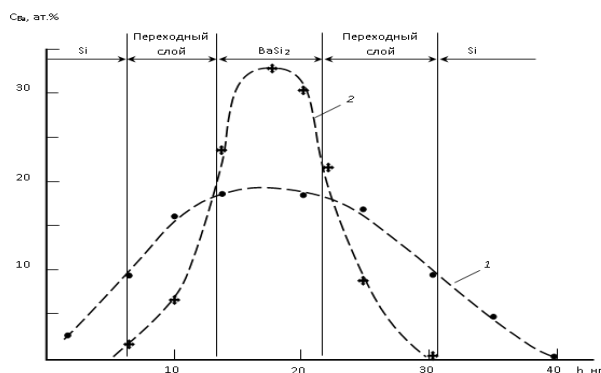
Keywords: bandgap width, nanolayer, hidden nanosized phases, nanophase, ion implantation, morphology, annealing, energy band parameters, thin films, valence band ceiling.

Введение. Многослойные тонкопленочные наноструктуры, содержащие слои NiSi₂, CoSi₂ и других силицидов металлов имеют перспективы в создании МДП (металл - диэлектрик – полупроводник), ПДП (полупроводник - диэлектрик – полупроводник) структур, омических контактов и барьерных слоев на межфазной границе этих структур, электронных и магнито-запоминающих устройств. Поэтому, последние годы резко возрос интерес к получению и изучению свойств наноразмерных полупроводниковых сверхрешеток на основе Si [1-9]. Подобные структуры обычно создаются методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Причем, как показали результаты исследования методами электронной оже-спектроскопии (ЭОС) и дифракции медленных электронов (ДМЭ), образование химических соединений начинается с доз, превышающих критическую дозу аморфизации поверхности Si для данного типа ионов. В частности авторы работ [10-12] показали, что дисилицид бария на кремнии, в силу своих оптических свойств, фото-вольтаических характеристик и устойчивости к воздействию атмосферного воздуха является перспективным материалом для фотоэлектронных преобразователей в диапазоне солнечной энергии.

Экспериментальная техника. Одним из перспективных методов создания наноразмерных структур на поверхности и в приповерхностной области полупроводниковых и диэлектрических пленок является метод ионной имплантации [13,14]. В частности, в [14] получен и изучен состав, структура и E_g нанофазы и нанослои CoSi₂, сформированные в приповерхностном слое Si на глубине 15 ÷ 30 нм. Ионная имплантация позволяет не только внедрять примеси на необходимые глубины в необходимом количестве, но и проводить распыление чужеродных примесей (кислорода, углерода и др.) с поверхностной области подложки [15-20].

В данной работе впервые попытались получить наноразмерные фазы BaSi₂ на различных глубинах Si и создать наноразмерные гетеросистемы типа Si/BaSi₂/Si. Имплантация ионов Ba⁺, прогрев образцов, исследование их состава и параметров энергетических зон с использованием методов ЭОС и измерением интенсивности проходящего через образец света, проводились в одном и том же приборе в условиях сверхвысокого вакуума (10⁻⁷ Па). Морфология поверхности изучалась методом растровой электронной микроскопии РЭМ (Jeol). Наноразмерные фазы и слои BaSi₂ на различных глубинах приповерхностного слоя Si получены имплантацией ионов Ba⁺ с вариацией энергии E₀ в пределах 20 ÷ 40 кэВ и дозы 10¹⁴ ÷ 10¹⁷ см⁻², при вакууме не хуже 10⁻⁷ Па.

Результаты исследований. На рисунке 1. приведены концентрационные профили распределения Ba по глубине h для Si (111), имплантированного ионами Ba⁺ с 20 кэВ при дозе насыщения D ≈ 10¹⁷ см⁻² до и после прогрева при 950 К в течение 40 мин. Анализ оже-спектров показал, что кривые проходят через максимум на глубине 16 ÷ 18 нм. На зависимости C_{Ba}(h), измеренного до прогрева, наблюдается широкий максимум с концентрацией ~20 ат. %. После прогрева происходит увеличение концентрации атомов в области максимума до 30 ÷ 35 ат.% и существенное уменьшение полуширины кривой распределения C_{Ba}(h). При этом



положение оже пика кремния $L_{2,3}VV$ (92 эВ) смещается до энергии ~ 96 эВ, что характерно для $BaSi_2$. Из кривой 2 видно, что ширина слоя $BaSi_2$ составляет $\sim 10 \div 12$ нм. На границах $Si/BaSi_2/Si$ формируется переходными слой с толщиной $\sim 6 \div 8$ нм, что значительно больше, чем в случае $CoSi_2 / Si / CoSi_2$ [14].

Рис. 1. Профили распределения атомов Ba по глубине h Si, имплантированного ионами Ba^+ с энергией $E_0 = 20$ кэВ при $D \simeq 10^{17}$ см $^{-2}$: 1 – до прогрева; 2 – после прогрева при $T = 900$ К.

Для этой системы на рис. 2 приведена зависимость I_{BaSi_2}/I_{Si} от энергии фотонов $h\nu$. Где I_{Si} и I_{BaSi_2} – интенсивности проходящего света через чистый Si (111) и через Si (111) с скрытым нанослоем $BaSi_2$, соответственно. Из рисунка 2 видно, что интенсивность света исследуемых образцов до определенного значения $h\nu$, практически, не меняется. В случае чистого Si резкое уменьшение I начинается с $h\nu \approx 1$ эВ, а в случае Si с нанослоем $BaSi_2$ – с $h\nu \approx 0.55$ эВ. Экстраполяция этой части кривых к оси $h\nu$ дает примерное значение ширины запрещенной зоны. Видно, что E_g для чистого Si составляет ~ 1.1 эВ, а для $BaSi_2$ – ~ 0.67 эВ. После прогрева Si, имплантированного ионами Ba^+ с невысокой дозой ($D \leq 5 \cdot 10^{15}$ см $^{-2}$) в приповерхностном слое формируются регулярно расположенные нанокристаллические фазы $BaSi_2$.

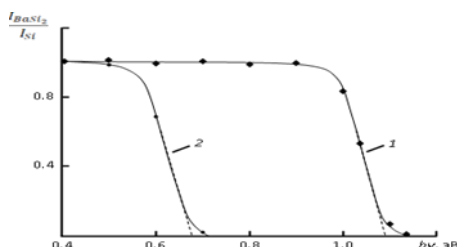


Рис. 2. Зависимость интенсивности проходящего света от энергии фотонов для чистого Si (кривая 1) и Si с нанослоем $BaSi_2$ (кривая 2)

В таблице приведены оптимальные режимы ионной имплантации и отжига для получения НК $BaSi_2$ в двух разных глубинах монокристалла Si (111). После каждого цикла имплантации ионов образец прогревался при соответствующей температуре в течении 30 мин.

Таблица

Оптимальные режимы ионной имплантации и отжига для получения нанокристаллов (НК) $BaSi_2$ на различных глубинах Si (111)

Объект исследования	$E_0 = 20$ кэВ				$E_0 = 30$ кэВ			
	D , см $^{-2}$	T , К	d , нм	h , нм	D , см $^{-2}$	T , К	d , нм	h' , нм
$Ba^+ \rightarrow Si(111)$	5×10^{14}	950	$6 \div 8$	16-18	5×10^{14}	950	$6 \div 8$	25÷30
	10^{15}	950	$8 \div 10$		10^{15}	1000	$8 \div 10$	
	5×10^{15}	1100	$10 \div 12$		5×10^{15}	1100	$10 \div 12$	

Из таблицы видно, что после прогрева Si, имплантированного ионами Ba^+ с $E_0 = 30$ кэВ нанокристаллические фазы в виде сфер формировались на глубине $25 \div$

30 нм. В обоих случаях до $D \approx 10^{15} \text{ см}^{-2}$ эти фазы имеют форму близкую к сферической. С дальнейшим ростом D границы соседних фаз перекрывают друг – друга, начинают образовываться слои BaSi_2 . Однако, однородный по толщине слой BaSi_2 формируется при $D \approx 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

На рисунка 3 приведены зависимость $\frac{I_{\text{BaSi}_2}}{I_{\text{Si}}}$ от $h\nu$ для Si с скрытыми нанофазами BaSi_2 , полученными имплантацией ионов Ba^+ с 20 кэВ при 10^{15} см^{-2} . Усредненные значения расстояний между фазами, которые оценивались по растровому электронному микроскопу (РЭМ – изображение), составляли $\sim 45 \div 50$ нм. Видно, что зависимость имеет ступенчатый характер и среднее значение E_g для нанокристаллов BaSi_2 составляет $0.8 \div 0.85$ эВ, а относительная площадь НК BaSi_2 в этих слоях Si $\sim 0.25 \div 0.3$. Т. е. варьируя дозу ионов в интервале $\sim 5 \cdot 10^{14} \div 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ можно контролируемо изменять объемы нанокристаллических фаз в пределах от $\sim 10^{-19}$ до 10^{-18} см^3 . При этом ширина запрещенной зоны монотонно уменьшается от ~ 1 до ~ 0.67 эВ.

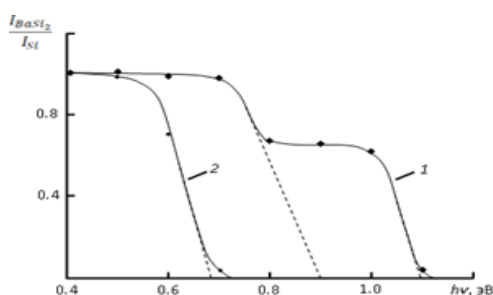


Рис.3. Зависимость интенсивности проходящего света от энергии фотонов для Si с нанофазами BaSi_2 (кривая 1) и нанослоем BaSi_2 (кривая 2).

Заключение. При $D \leq 10^{14} \text{ см}^{-2}$ нами не обнаружено образование нанокристаллических фаз BaSi_2 с хорошей стехиометрией. Кроме того, из-за малой концентрации атомов Ba, на зависимости $I(h\nu)$ не наблюдается заметного уменьшения интенсивности проходящего света вплоть до значений $h\nu \sim 1$ эВ. При $D > 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наблюдается перекрывания границ отдельных кластерных фаз.

Определены оптимальные режимы ионной имплантации и отжига для получения скрытых наноразмерных фаз и слоев BaSi_2 в приповерхностной области Si. С использованием метода спектроскопии поглощения света оценены ширина запрещенных зон и степень покрытия слоя нанофазами BaSi_2 .

Показано, что при дозе $D \leq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ формируется наноразмерная фаза BaSi_2 и в них проявляются квантово размерные эффекты. При больших дозах $D = D_n = 10^{17} \text{ см}^{-2}$ формируется нанослой BaSi_2 толщиной $\sim 10 \div 12$ нм.

Список использованной литературы

- 1.Лифшиц В.Г. Котляр В.Г., Саранин А.А. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1984. № 12. - С. 76.
- 2.Li B., Liu J. // J. Appl. Phys. 2009. Vol. 105, p.084905. doi:[10.1063/1.3110183](https://doi.org/10.1063/1.3110183)
- 3.Рудаков В.И., Денисенко Ю.И., Наумов В.В., Симакин С.Г. // Письма в ЖТФ, 2011, Том 37, вып. 3, с. 36-44.
- 4.Дубов В.Л., Фомин Д.В. // Успехи прикладной физики, 2016, том 4, № 6. - С.599-605.
- 5.Chai J.Sh., Zhu X.X., Wang J.T. // J Mater Sci. 2020, 55. p.9483–9492. doi:org/10.1007/s10853-020-04685-5.
- 6.Tsukahara D., Yachi S., Takeuchi H., Takabe R., Du W., Baba M., Li Y., Toko K., Usami N., Suemasu T. // Appl. Phys. Lett. 2016. № 108. p.152101.
- 7.Galkin N.G., Goroshko D.L., Dubov V.L., Fomin D.V., Galkin K.N., Chusovitina E.A., Chusovitina S.V. // Japanese Journal of Applied Physics. 2020, 59, SFFA11. doi:org/10.35848/1347-4065/ab6b76.
- 8.Hara K.O., Hoshi Y., Usami N., Shiraki Y., Nakamura K., Toko K., Suemasu T. // Thin Solid Films. 2014. Vol. 557. p.90.
- 9.Cheng, Z.Z., Cheng Z., Xu B. // Chin. Phys. Let. 2007. Vol. 24. № 9. p. 2649.

10. Kishino Sh., Imai T., Iida T., Nakaishi Y., Shinada M., Takanashi Y., Hamada N. // Journal of Alloys and Compounds. 2007. Vol. 428. p.22.
11. Болтаев Х.Х., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. № 4. с.24-13. Doi: [10.7868/S0207352814010107](https://doi.org/10.7868/S0207352814010107).
12. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Курбанов Х.Х. // Поверхность. 2011. № 7. -С. 91-94.
13. Муродкобилов Д.М., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. 2013. №10. -С.58-62.
14. Alov N.V. // Methods Phys. Res. B. 2007. Vol. 256. Iss. 1. p. 337.
15. Ergashov Y.S., Umirzakov B.E. // Tech. Phys. 2018, Vol. 63, № 12, 1820-1823. doi:10.1134/S1063784218120058.
16. Ivna K., Piltaverlavana J., Badovanic R. // Appl. Surf. Sci. 2017. Vol. 425. P. 416.
17. Risbaev A.S., Khujaniyazov J.B., Bekpulatov I.R., Rakhimov A.M. // Journal of Surface Investigation, 2017, Vol. 11, № 5, p.994-999. doi: 10.1134/S1027451017050135.
18. Donskoy I.G. // Energy Systems Research, 2019, Vol. 2, № 3, p.55-61.
19. Оура К., Лифшиц Г.В., Саранин А.А., Зотов. А.В., Катаяма М. / Введение в физику поверхности. - М.: Наука. 2006. -С. 52-56.
20. Liao F., Girshick S.L., Mook W.M., Gerberich W.W., Zachariah M.R. // Appl. Phys. Lett. 2005. Vol. 86. p. 171913-171915.

ZnO NANOROD VA NANOKRISTALLARINING NOCHIZIQLI OPTIK XUSUSIYATLARINI O'RGANISH

Z.Sh. Shaymardanov

O'R FA Ion- plazma va lazer texnologiyalari instituti,

O'zbekiston Milliy universiteti.

zshaymardanov@mail.ru

ORCID 0000-0003-1053-0294

UDK 535:374.535:015

Annotatsiya. Rux oksidi (ZnO) nanostrukturalarining nochiziqli optik xususiyatlari namunalarining shakli va o'lchamlariga kuchli bog'liqligi ko'plab tadqiqotchilar e'tiborini tortmoqda. ZnO nanostrukturalarining ikkinchi tartibli nochiziqli optik xususiyatlarini o'rganishda to'liq uzunligi $\lambda=800$ nm, davomiyligi $\tau = 40$ fs bo'lgan impulsli Ti:safir lazeridan foydalanildi. ZnO nanokristallari va nanorodlariga yo'naltirilgan 800 nm to'liq uzunligidagi lazer impulslari ta'sirida ikkinchi garmonika generatsiyasi nurlanishi $\lambda=400$ nm to'liq uzunligida chiqarishini, shuningdek, ikki fotonli yutulish natijasida 500-700 nm to'liq uzunligi sohasida fotoluminessensiya spektrlari hosil bo'lishi kuzatildi. ZnO nanostrukturalariga yo'naltirilgan lazer impulslarining energiyasiga bog'liq ravishda ikkinchi garmonika generatsiyasi hosil bo'lishi tahlil qilindi. Uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi $E=0,01 \mu\text{J}$ dan $E=0,1 \mu\text{J}$ gacha ortishi bilan, ikkinchi garmonika generatsiyasining intensivligi lazer impulsi energiyasining 1,7 dan 2,5- darajasiga bog'liq ravishda ortib borishi aniqlandi. Namunada ikkinchi garmonikanika generatsiyasining hosil bo'lishi lazer nuri intensivligining o'zgarishiga nochiziqli bog'liq ekanligi kuzatildi.

Kalit so'zlar: ZnO nanorodlari, ZnO nanokristallari, nochiziqli optik jarayonlar, ikkinchi garmonika generatsiyasi.

STUDY OF NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF ZnO NANORODS AND NANOCRYSTALS

Abstract. The nonlinear optical properties of zinc oxide (ZnO) nanostructures are strongly dependent on the shape and size of the samples, which has attracted the attention of many researchers. A pulsed Ti:sapphire laser with a wavelength of $\lambda=800$ nm and a duration of $\tau = 40$ fs was used to study the second-order nonlinear optical properties of ZnO nanostructures. Under the influence of laser pulses with a wavelength of 800 nm directed to ZnO nanocrystals and nanorods, it was observed that the second harmonic generation was emitted at a wavelength of $\lambda=400$ nm, as well as the formation of photoluminescence spectra in the wavelength range of 500-700 nm as a result of two-photon absorption. The formation of second harmonic generation was analyzed depending on the energy of the laser pulses directed to ZnO nanostructures. It was found that as the energy of the excitation laser pulse increases from $E=0.01 \mu\text{J}$ to $E=0.1 \mu\text{J}$, the intensity of the second harmonic generation increases as a function of the laser pulse energy from 1.7 to 2.5. It was observed that the second harmonic generation in the sample is nonlinearly dependent on the change in laser light intensity.

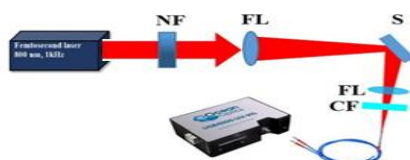
Keywords: ZnO nanorods, ZnO nanocrystals, nonlinear optical processes, second harmonic generation.

Kirish. Nanotexnologiyalar va nanoo'lchamli materiallarni o'rganuvchi fanlarning

tez sur'atlarda rivojlanishi suyuq fazada va yupqa qatlamlarda turli xil nanostrukturalarni sintez qilish va ularning turli fizik xususiyatlarini tadqiq qilishga imkoniyatlar yaratmoqda [1-3]. So'nggi vaqtlarda ishlab chiqilgan usullar materiallarning turli shakl va o'lchamdagi nanostrukturalarini sintez qilish imkonini beradi. Bu yangi ishlab chiqilgan nanostrukturali materiallarni optoelektronika, lazerlar va quyosh elementlarida qo'llash imkoniyatlarini yanada oshiradi [4]. Jumladan, ZnO (taqiqlangan zona kengligi 3,37 eV) nanozarralarining nochiziqli optik xususiyatlari [5] ishda o'rganilgan. ZnO nanostrukturalarining strukturaviy tuzilishi va optik xususiyatlarini o'rganishga bo'lgan qiziqishlar ularning arzonligi, toksik emasligi va barqarorligi bilan bog'liqdir. ZnO nanozarralarining ikkinchi va uchinchi tartibli nochiziqli optik xususiyatlari biomarkerlar va optik tasvirlashda qo'llanilmoqda [6,7]. ZnO nanozarrachalarining markazga nisbatan nosimmetrik strukturalari ikkinchi garmonika generatsiyasi (IGG) ni nisbatan kuchliroq namoyon etishi mumkin [8]. Nanokristallardagi IGG lazer spektroskopiyasida, chastota o'zgartirgichlarda va yorug'lik diodlarida [9], shuningdek, biologik tasvirlashda va kimyoviy sensorlarda qo'llanilishi mumkin [10]. Sapfir tagliklarga yotqizilgan ZnO ning mikrokristal yupqa plyonkalaridagi IGG [11] ishda o'rganilgan. Ikkinchi tartibli nochiziqli optik javobning tez ortishi ZnO yupqa qatlamlarida ikkinchi garmonikaning samarali hosil bo'lishiga olib kelishi aniqlangan. ZnO yupqa qatlamlarining nochiziqli optik xususiyatlarini femtosekund (fs) va pikosekund (ps) impulslar yordamida tadqiq qilish [12] ishda keltirilgan. ZnO yupqa plyonkalarining nochiziqli optik javobi orqali ularning tuzilishini manipulyatsiya qilishga, ya'ni boshqarish mumkinligi ko'rsatildi. [3] ishda ZnO nanorodlarining hajmiy strukturalarida uchinchi tartibli nochiziqlilikning kuchayishi kuzatilgan. [7] ishda ZnO nanorodlarining ikkinchi tartibli nochiziqliligini aniqlash uchun ps impulsleri yordamida tadqiqotlar olib borilgan. ZnO nanostrukturalarining uchinchi tartibli nochiziqliligining kuchayishi ularni optik cheklovchi sifatida qo'llash uchun foydali bo'lishi mumkin. ZnO nanostrukturalarining uchinchi tartibli chiziqli bo'lmagan optik xususiyatlariga asoslangan optik cheklash effekti [13] ishda tahlil qilingan. Shuningdek, turli metallarni ZnO nanostrukturalariga kiritish orqali optik cheklovchilarning samaradorligini oshirishi mumkinligi ham ko'rsatib o'tilgan. ZnO monokristallari va nanomateriallaridagi (nanoplyonkalar, nanorodlar va nanokristallar) uchinchi tartibli nochiziqli optik xususiyatlar va IGG si [14,15] ishlarda o'rganilgan. Ushbu tadqiqotlarda kuzatilgan IGG ning burchakka bog'liqligining g'ayrioddiy shakli ZnO plyonkalaridagi polikristal strukturaning turli yo'nalishlari bilan izohlangan. So'nggi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ZnO nanokristallarining noyob nochiziqli optik xususiyatlari nanoantennalarda infraqizil femtosekundli lazer impulsleri yordamida rezonansli IGG ni kuchaytirish uchun foydalanilishi mumkin [16]. Nanoo'lchamli ZnO kristallarining yana bir istiqbolli qo'llanilishi yuqori tartibli garmonikalarni olish vaqtida lazer impulslerinin chastotalarini o'zgartirishidir.

Ushbu maqolada ZnO asosidagi nanostrukturali materiallarda kuzatiladigan nochiziqli optik jarayonlar tadqiq qilingan. ZnO nanokristallari, nanorodlarida hosil bo'ladigan ikkinchi tartibli nochiziqli jarayonlarni kuzatishda to'lqin uzunligi 800 nm, davomiyligi 40 fs bo'lgan lazer impulsleridan foydalanildi va nurlantirish orqali ushbu nanostrukturalarda ikkinchi garmonika generatsiyasi hosil bo'lish shartlari aniqlandi.

Tadqiqot metodologiyasi. 1-rasmda impulsli lazer nurlari ta'sirida ZnO nanokristallari va nanorodlarida paydo bo'ladigan IGG sini o'lchash uchun mo'ljallangan eksperimental qurilmaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Tadqiqot ishida impuls davomiyligi $\tau = 40$ fs, to'lqin uzunligi $\lambda = 800$ nm va takrorlanish chastotasi 1 kHz bo'lgan Ti: safir lazeridan foydalanildi (Spitfire Ace, Spectra-Physics).



1-rasm. ZnO nanostrukturalarida ikkinchi garmonika generatsiyasini tadqiq qilishga mo'ljallangan eksperimental qurilma. NF neytral filtr, FL fokuslovchi linzalar; S namuna; CF rangli filtr.

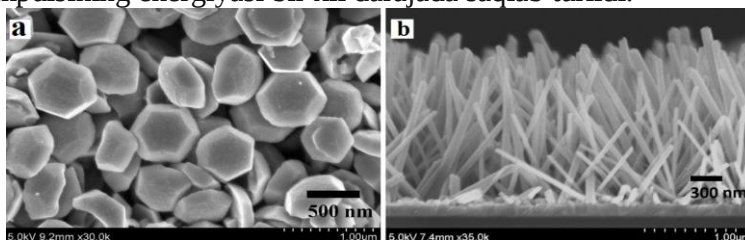
Lazer nuri neytral filtdan (NF) o'tib fokuslovchi linza yordamida (FL) namunalarga yo'naltirilgan. Hosil qilingan ikkinchi harmonika generatsiyasining chiqishi va to'liq uzunligi 800 nm bo'lgan lazer nurlanish bilan uyg'otilishi natijasida 500-700 nm to'liq uzunligi diapazonida kuzatiladigan fotoluminetsensiya spektrlari fokuslovchi linza FL va yorug'lik filtr CF orqali o'tib, optik tolali spektrometr (USB 2000, Ocean Optics) yordamida qayd qilindi.

Natijalar va muhokama. ZnO nanorodlari past haroratli gidrotermal usulda sintez qilindi. Rux nitrat geksagidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) va geksametiltetramin ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) ning deionlashgan suvdagi 100 mM konsentratsiyali eritmaları alohida tayyorlanib, keyin aralashtiriladi. Aralashtirish jarayoni 30 daqiqa davom etadi va shaffof, bir jinsli eritma hosil bo'ladi. So'ngra tayyor bo'lgan eritmaga tagliklar kiritiladi va eritma ZnO nanorodlari sintez bo'lishi uchun maxsus termostatli pechga joylashtiriladi. Gidrotermal sintez jarayoni 90°C temperaturada 5 soat davomida amalga oshiriladi. Reaksiya tugagandan so'ng namunalari eritmadan chiqarib olindi va deionlashgan suvda bir necha marta yuvildi va ochiq havoda quritildi.

ZnO nanokristallari. ZnO nanokristallarini sintez qilishda kimyoviy cho'ktirish usulidan foydalanildi. 0,6586 g rux atsetat degidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; tozaligi 99,999%, Aldrich) xona haroratida 30 ml metanolda eritildi va magnit aralashtirgich yordamida bir jinsli eritma holatiga kelguncha aralashtirildi. So'ngra 10 ml deionlashtirilgan suv qo'shilib, 5 daqiqa davomida ultratovush vannada ishlov berildi. Tayyor bo'lgan suspenziya konus shaklidagi kolbaga solinib, avvaldan tozalangan tagliklar kolbaning pastki qismiga joylashtirildi. Konus shaklidagi kolba 24 soat davomida 63°C haroratda bo'lgan pechga joylashtirildi. ZnO nanokristallarini cho'ktirish jarayoni tugagandan so'ng namunalari kolbadan olinib, xona haroratida sovutiladi.

2a- rasmda kimyoviy cho'ktirish usuli bilan borosilikat shisha va sapfir tagliklari sirtida sintez qilingan ZnO nanokristallining skanlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida olingan tasviri keltirilgan. Tasvirlardan ZnO nanokristallarining o'lchamlari 400-500 nm atrofida bo'lib, oltiburchakli qirralari aniq shakllangan geksagonal kesik konus shakliga egaligini ko'rishimiz mumkin. Bu sintez jarayonining sifatli amalga oshirilganini va foydalanilgan reagentlar sifatining yaxshiligini ko'rsatadi. 2b- rasmda esa shisha tagliklar sirtida gidrotermal usulda o'stirilgan ZnO nanorodlarining SEM da olingan tasvirlari keltirilgan.

ZnO nanorodlarining asosiy qismi taglikka nisbatan vertikal yo'nalishda o'sganligini 2b- rasmdan ko'rishimiz mumkin. SEM tasvirlaridan, o'stirilgan ZnO nanorodlarining o'rtacha uzunligi ~2 μm va diametrlari esa ~50 nm ekanligi aniqlandi. Sintez qilingan ZnO nanostrukturalarida nochiziqli optik jarayonlar tadqiq qilindi. ZnO nanokristallari va nanorodlarida ikkinchi garmonika generatsiyasini solishtirish uchun tajribalar davomida uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi bir xil darajada saqlab turildi.

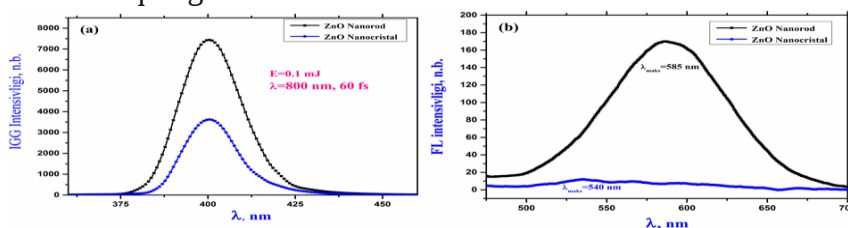


2-rasm. a) kimyoviy cho'ktirish usulida sintez qilingan ZnO nanokristallari va b) gidrotermal usulida sintez qilingan ZnO nanorodlarining SEM da olingan tasvirlari.

ZnO nanokristallari va nanorodlarining parametrlari $\lambda=800$ nm, $\tau=40$ fs, $E=0,1$ mJ bo'lgan lazer impulsar bilan nurlantirilganda ikkinchi garmonika generatsiyasining nurlanishi $\lambda=400$ nm to'liq uzunligida chiqarishi kuzatildi (3a- rasm). Bir xil uyg'otish sharoitida kuzatilgan ikkinchi garmonika generatsiyalarining intensivligi ZnO nanorodlarida nanokristallarga qaraganda ikki marta katta ekanligini ko'rishimiz mumkin. Bu nanorod va nanokristallarning morfologik tuzilishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Olib borilgan tadqiqotlar davomida uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi ortib borishi bilan ushbu namunalar sirtida nurlanish paydo bo'lishi kuzatildi. ZnO nanorod va nanokristallarining 800 nm to'liq uzunligidagi lazer nurlanishi ta'sirida uyg'otilishi natijasida 500-700 nm to'liq uzunligi diapazonida fotolyuminessensiya spektrlari o'lchandi (3b- rasm). ZnO nanorodlari fotolyuminessensiya spektrlarining maksimumi 585 nm to'liq uzunligida joylashgan keng nurlanish polosasidan iborat. ZnO nanokristallarining fotolyuminessensiya spektrlari maksimumi 540 nm to'liq uzunligida joylashgan bo'lib, ZnO nanorodlarining fotolyuminessensiya spektrlarining intensivligiga nisbatan 20 marta past ekanligi aniqlandi (3b- rasm).

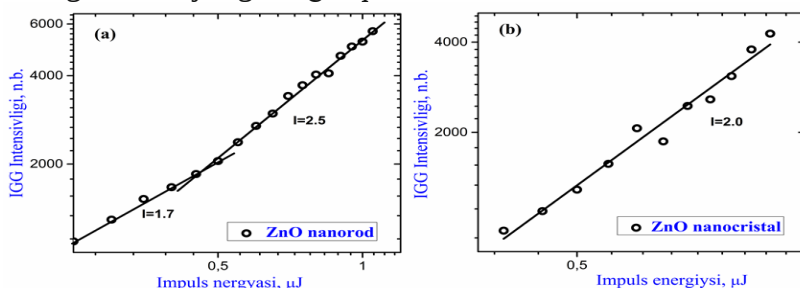
ZnO nanorodlari va nanokristallari fotolyuminessensiya spektrlari maksimumlarining bir-biriga nisbatan siljishi va/yoki har xil to'liq uzunligi diapozonida joylashganligi ularning kristall strukturadagi nuqsonlar tufayli yuzaga keladi. [17] ishda ZnO monokristallarini 1064 nm to'liq uzunlikdagi nanosekund davomiylikka ega bo'lgan lazer impulsari bilan uyg'otilganda fotolyuminessensiya spektrlari maksimumlarining o'zgarishi batafsil tahlil qilingan.



3-rasm. ZnO nanokristallari va nanorodlarida kuzatilgan a) ikkinchi garmonika generatsiyasi va b) fotolyuminessensiya spektrlari.

Tadqiqotda kuzatilgan namunalarimizning fotolyuminessensiya spektrlari turli materiallarning atomlari kiritilgan ZnO nanostrukturallari ustida olib borilgan tadqiqot natijalari bilan mos tushadi [18-19].

4-rasmda ZnO nanorodlari va nanokristallarida kuzatilgan ikkinchi garmonika generatsiyalari intensivliklarining uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasiga bog'liqligi keltirilgan. ZnO nanorodlarida uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi $E=0,01$ μ J dan $E=0,05$ μ J gacha ortishi bilan, ikkinchi garmonika generatsiyasining intensivligi lazer impulsi energiyasining 1,7 darajasiga bog'liq ravishda ortishi sodir bo'ldi.



4-rasm. ZnO a) nanorodlari va b) nanokristallarida kuzatilgan ikkinchi garmonika generatsiyasi intensivliklarining uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasiga bog'liqligi.

Uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi $E=0,05$ μ J dan $E=0,1$ μ J gacha ortishi bilan esa ikkinchi garmonika generatsiyasining intensivligi lazer impulsi energiyasining 2,5 darajasiga bog'liq ravishda ortib borishi kuzatildi 4-(a) rasm. Bu esa kuzatilayotgan ikkinchi garmonika generatsiyasi majburiy nurlanish xarakteriga ega ekanligi bilan izohlanadi.

ZnO nanokristallarida uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi $E = 0,01 \mu\text{J}$ dan $E = 0,1 \mu\text{J}$ gacha ortishi bilan, ikkinchi garmonika generatsiyasining intensivligi lazer impulsi energiyasining 2,0 darajasiga bog'liq ravishda ortishi kuzatildi 4-(b) rasm. Bu uyg'otuvchi impuls energiyasi bilan ikkinchi garmonika intensivligining kvadratik bog'liqligiga juda yaqindir. Bunday o'zgarish avvalroq [20] ishda kuzatilgan bo'lib, ikkinchi garmonika generatsiyasi va/yoki ikki fotonli majburiy lyuminessensiya bilan izohlangan.

ZnO nanorodlari va nanokristallarida kuzatilgan ikkinchi garmonika generatsiyasi intensivliklarining turli ekanligi va ularning uyg'otuvchi impuls energiyasining turli darajalariga bog'liq ekanligi quyidagi omillar ta'sirida vujudga keladi: birinchidan, ZnO nanorodlari va nanokristallarining o'lchamlari turli ekanligi. Ma'lumki, ikkinchi garmonika generatsiyasi kuzatilishi uchun kristalning uzunligi bilan ikkinchi garmonika generatsiyasi kuzatiladigan kogerentlik uzunligi o'zaro mos kelishi zarur. Ikkinchidan, ZnO nanorodlari bir o'lchamli kristal bo'lib, nanorodlar uchun shu o'q optik nur tola vazifasini bajaradi. Bunda ZnO nanorodlarida hosil bo'lgan ikkinchi garmonika generatsiyasi asosan shu o'q bo'ylab tarqaladi va intensivligi yuqoriroq bo'ladi. Shunday qilib, ZnO nanostrukturalari orasida nanorodlar bir o'lchamli bo'lganligi sababli ularda ikkinchi garmonika generatsiyasi yaxshiroq kuzatiladi va bu xususiyati ularni nochiziqli optik qurilmalarda qo'llanilish imkoniyatlarini oshiradi.

Xulosa va takliflar. ZnO nanorodlari va nanokristallarida to'liq uzunligi $\lambda = 800 \text{ nm}$, davomiyligi $\tau = 40 \text{ fs}$ bo'lgan impulsli Ti:safir lazeri impulsleri ta'sirida kuzatiladigan nochiziqli optik jarayonlar tadqiq qilindi. ZnO nanorodlari va nanokristallarida ikkinchi garmonika generatsiyasini va uning intensivligini uyg'otuvchi lazer impulslerinin quvvatiga bog'liqligi tahlil qilindi. Bir xil uyg'otish sharoitida kuzatilgan ikkinchi garmonika generatsiyalarining intensivligi ZnO nanorodlarida nanokristallarga qaraganda ikki marta katta bo'lishi aniqlandi. Uyg'otuvchi lazer impulsining energiyasi $E = 0,01 \mu\text{J}$ dan $E = 0,1 \mu\text{J}$ gacha ortishi bilan, ikkinchi garmonika generatsiyasining intensivligi lazer impulsi energiyasining 1,7 dan 2,5- darajasiga bog'liq ravishda ortib borishi aniqlandi. ZnO nanorodlarida ikkinchi garmonika generatsiyasi intensivligining kattaligi va uning uyg'otuvchi impuls energiyasining yuqori darajasiga bog'liq ekanligi aniqlandi. Bunga ZnO nanorodlari bir o'lchamli kristal ekanligi va shu o'q optik nur tola vazifasini bajarishi tufayli IGG yaxshi kuchayishi sodir bo'ladi. Bu esa ularni nochiziqli optik qurilmalarda qo'llanilish imkoniyatlarining yanada o'tishiga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ü. Özgür, D. Hofstetter, H. Morkoç, ZnO Devices and Applications: A Review of Current Status and Future Prospects in: Proceedings of the IEEE, 98, 2010, pp. 1255–1268. [DOI:10.1109/JPROC.2010.2044550](https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2044550)
2. A. Kołodziejczak-Radzimska, T. Jesionowski, Zinc Oxide-From Synthesis to Application: A Review, Materials 7(4): 2014 Apr 9; 2833-2881. [doi:10.3390/ma7042833](https://doi.org/10.3390/ma7042833).
3. DONG-CHEOL OH, Conductivity Control of Al-doped ZnO Thin Films Deposited by Radio Frequency Sputtering, Asian Journal of Chemistry 35 (7):1672-1676 July 2023. doi.org/10.14233/ajchem.2023.28017
4. Ziwei Cao, Roya Momen, Shusheng Tao et al., Metal-Organic Framework Materials for Electrochemical Supercapacitors, Nanomicro Lett. 2022 Sep 1; 14(1):181. [doi: 10.1007/s40820-022-00910-9](https://doi.org/10.1007/s40820-022-00910-9)
5. B. Cao, W. Cai, H. Zeng, Observation of optical bistability in a ZnO powder random medium Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 161101. doi.org/10.1063/1.2338533
6. Ghahrijani, R. T. et al. ZnO–SrAl₂O₄: Eu nanocomposite-based optical sensors for luminescence thermometry. ACS Appl. Nano Mater. 4, 9190–9199 (2021). doi.org/10.1021/acsanm.1c01717
7. Sony, T.; Zaker, T.A.; Zakar, A.T.; Mohammed, H.N. Nonlinear Optical Properties of ZnO Thin Film at Low Laser Intensity Using Z-Scan Technique. Rafidain J. Sci. 2021, 30, 32–38. doi.org/10.33899/rjs.2021.169975
8. X.M. Fan, J.S. Lian, L. Zhao, Y.H. Li, Single violet luminescence emitted from ZnO films obtained by oxidation of Zn film on quartz glass Appl. Surf. Sci. 252 (2005) 420. doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.01.018
9. A.A. Chaaya, R. Viter, M. Bechelany, Z. Alute, D. Erts, A. Zaleskaya, K. Kovalevskis, V. Rouessac, V. Smyntyna, P. Miele, Evolution of microstructure and related optical properties of ZnO grown by atomic layer deposition Beilstein J. Nanotechnol. 4 (2013) 690. <https://doi.org/10.3762/bjnano.4.78>

10. E.H. Khan, M.H. Weber, M.D. McCluskey, Formation of Isolated Zn Vacancies in ZnO Single Crystals by Absorption of Ultraviolet Radiation: A Combined Study Using Positron Annihilation, Photoluminescence, and Mass Spectroscopy, Phys. Rev. Lett. 111 (2013) 017401. [DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.017401](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.017401)
11. E. Hosono, S. Fujihara, T. Kimura, H. Imai, Growth of layered basic zinc acetate in methanolic solutions and its pyrolytic transformation into porous zinc oxide films, J Colloid Interface Sci. 2004 Apr 15;272(2):391-8. [doi: 10.1016/j.jcis.2003.10.005](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.10.005).
12. C. Torres-Torres, J. H. Castro-Chacón, L. Castañeda, R. Rangel Rojo, R. Torres-Martínez, L. Tamayo-Rivera, and A. V. Khomenko, Ultrafast nonlinear optical response of photoconductive ZnO films with fluorine nanoparticles, Optics Express Vol. 19, Issue 17, pp. 16346-16355 (2011) doi.org/10.1364/OE.19.016346
13. J.M. Calleja, M. Cardona, Flame Aerosol Synthesis of Freestanding ZnO Nanorods, Phys. Rev. B 16 (1977) 3753. doi.org/10.1103/PhysRevB.16.3753
14. L. Bergman, X.B. Chen, J.L. Morrison, J. Huso, A.P. Purdy, Photoluminescence dynamics in ensembles of wide-band-gap nanocrystallites and powders J. Appl. Phys. 96 (2004) 675. doi.org/10.1063/1.1759076
15. S.S. Kurbanov, Kh. T. Igamberdiev, T.W. Kang, The UV-laser induced heating effect on photoluminescence from ZnO nanocrystals deposited on different substrates J. Phys. D: Appl. Phys 43 (2010) 115401. [DOI 10.1088/0022-3727/43/11/115401](https://doi.org/10.1088/0022-3727/43/11/115401)
16. Q.P. Wang, D.H. Zhang, Z.Y. Xue, X.T. Hao, Violet luminescence emitted from ZnO films deposited on Si substrate by rf magnetron sputtering, Appl. Surf. Sci. 201 (2002) 123. [doi.org/10.1016/S0169-4332\(02\)00570-6](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(02)00570-6)
17. A.F. Kohan, G. Ceder, D. Morgan, C.G. Van de Walle, First-principles study of native point defects in ZnO, Phys. Rev. B 61 (2000). doi.org/10.1103/PhysRevB.61.15019
18. D.C. Look, K.D. Leedy, L. Vines, B.G. Svensson, A. Zubiaga, F. Tuomisto, D.R. Douthett, L.J. Brillson, Self-compensation in semiconductors: The Zn vacancy in Ga-doped ZnO, Phys. Rev. B 84 (2011) 115202. doi.org/10.1103/PhysRevB.84.115202
19. E. Menéndez-Proupin, P. Palacios, and P. Wahnón, Electronic and atomic structure of complex defects in Al- and Ga-highly doped ZnO films, Materials Chemistry and Physics Volume 160, 15 June 2015, Pages 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.05.012>
20. J. Dai, J. Zeng, S. Lan, X. Wan, S. Tie, Competition between second harmonic generation and two-photon-induced luminescence in single, double and multiple ZnO nanorods, Optics Express Vol. 21, Issue 8, pp. 10025-10038 (2013). <https://doi.org/10.1364/OE.21.010025>

СМЕЩЕНИЕ ПОЛОС В СПЕКТРАХ ИК ПОГЛОЩЕНИЯ МЕТАНОЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОКРУЖЕНИЯ: СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Аскар Некбоев

Каршинский государственный университет, базовый-докторант

A.Nekboyev@mail.ru

ORCID 0009-0003-0682-9936

УДК 539.2

Аннотация. В работе проведено сравнение результатов квантово-химического моделирования влияния аргонового и метанольного окружения на колебательные спектры мономера, димера и тримера метанола с экспериментально зарегистрированными спектрами инфракрасного поглощения метанола в газообразном состоянии, а также изолированного в низкотемпературной аргоновой матрице. Рассчитанные методом DFT в приближении B3LYP/cc-pVTZ величины смещений спектральных полос метанола в вакууме и аргоне хорошо согласуются с величинами смещений соответствующих полос в спектрах метанола, изолированного в аргоновой матрице, относительно полос в спектрах газообразного метанола. Рассчитанные таким же методом смещения для метанола в метанольной среде не согласуются с экспериментально зарегистрированными смещениями полос жидкого метанола относительно газообразного.

Ключевые слова: метанол, аргон, кластер, ИК поглощение, квантово-химическое моделирование

MUHIT TA'SIRIDA METANOLNING IQ YUTILISH SPEKTRI POLOSASINING SILJISHI: TAJRIBA VA HISOBLASH NATIJALARINI SOLISHTIRISH

Annotatsiya. Ushbu ishda, metanolning monomeri, dimeri va trimerining tebranma spektrlariga argon va metanol muhitining ta'sirini kvanto-kimyoviy modellash tirish usulini qo'llash orqali o'rganilgan hamda metanolning gaz holatidagi infraqizil yutilish spektrlari va past haroratdagi argon matritsasi

izolyatsiyalangan holati bilan tajribada olingan spektral natijalar solishtirilgan. DFT metodidan B3LYP/cc-pVTZ yaqinlashuvi bo'yicha hisoblangan metanolning vakuumda va argondagi spektral polosalarining siljishi, argon matritsasida izolyatsiyalangan metanolning spektrlari bilan solishtirilganida, gaz holatidagi metanol spektrlariga nisbatan juda yaxshi mos kelishi kuzatilmoqda. Xuddi shu metod yordamida metanolning metanol muhitidagi siljishlari hisoblanganda, ular suyuq metanolning gaz holatiga nisbatan tajribada olingan siljishlari bilan mos kelmasligi kuzatilmoqda.

Kalit so'zlar: metanol, argon, klaster, IQ yutilish, kvanto-kimyoviy hisoblashlar

Введение. Метанол является одним из представителей одноатомных спиртов, молекулы которых содержат одну гидроксильную группу. Благодаря этому в конденсированном состоянии между молекулами спиртов образуются водородные связи, что приводит к формированию кластерной структуры. Процессы кластерообразования в спиртах активно и эффективно изучаются методами колебательной спектроскопии [1 - 3]. Однако традиционные спектроскопические методы позволяют получить лишь усредненную информацию о структуре вещества в целом, не предоставляя детальных данных о поведении отдельных молекул или их кластеров небольших размеров. Чтобы преодолеть это ограничение, используется метод матричной изоляции. Его суть заключается в том, что исследуемые молекулы охлаждают и фиксируют в среде инертного газа (обычно аргона) при температуре около 10 К. Полученные матрицы прозрачны для инфракрасного излучения, что дает возможность регистрировать спектры ИК поглощения изолированных в них молекул. Эти спектры можно напрямую сравнивать с результатами квантово-химических расчетов, поскольку они позволяют наблюдать колебательные спектры отдельных молекул или их небольших комплексов, аналогичные тем, что прогнозируются в компьютерных моделях.

Одним из главных преимуществ метода матричной изоляции является его высокая точность, связанная с отсутствием значительного влияния окружающей среды на исследуемые молекулы. Однако в ряде экспериментов было зафиксировано слабое воздействие матрицы, выражающееся в небольшом (до нескольких процентов) смещении спектральных линий по сравнению со спектрами в газовой фазе. Этот эффект, известный как матричный сдвиг, возникает из-за изменения структуры изолированных молекул под влиянием окружающей матрицы. Например, в одном из исследований было отмечено, что при изоляции метанола в неоновой матрице его полосы валентных колебаний O–H сдвигались в сторону длинных волн, тогда как в аргоновой матрице наблюдалось их смещение в сторону коротких волн относительно соответствующих полос в газовой фазе [4].

В данной работе сравниваются полученные нами ранее [5, 6] результаты квантово-химического моделирования структуры и спектров ИК поглощения небольших кластеров метанола, содержащих одну, две и три молекулы, в трех различных средах – вакууме, метаноле и аргоне – с доступными экспериментальными данными, с целью проверить корректность выбранного нами подхода и метода моделирования. Расчеты в вакууме моделируют спектры соответствующих кластеров в газообразном состоянии, где представлены преимущественно мономеры, поэтому целесообразно проводить сравнение результатов моделирования спектров мономера метанола в вакууме с экспериментально полученными спектрами газообразного метанола. Результаты расчетов колебательных частот кластеров метанола в метанольном окружении следует сравнивать со спектрами ИК поглощения жидкого метанола, в котором каждый кластер находится в окружении других молекул метанола. Спектры метанола, изолированного в аргоновой матрице, сравниваются с рассчитанными спектрами кластеров метанола в аргоновом окружении.

Обзор литературы по теме. Водородно-связанные кластеры метанола активно изучаются в том числе и с применением методики матричной изоляции [7 - 12]. Во всех случаях в матрицах наблюдается матричный сдвиг, то есть смещение спектральных полос относительно полос в спектрах газообразного метанола. Методы квантово-химического моделирования использовались для оценки влияния

аргоновой матрицы на структуру изолированных в ней молекул и кластеров в нескольких исследованиях. Так, в работе [13] были рассмотрены матричные сдвиги для кластеров воды различного размера, изолированных в аргоновой матрице. В частности, было показано, что все полосы в рассчитанных спектрах ИК поглощения кластеров воды в аргоновой среде смещаются в длинноволновую сторону по сравнению со спектрами в вакууме. Такие результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными. В недавних работах методами спектроскопии ИК поглощения и квантово-химического моделирования изучалось влияние аргоновой матрицы на другие одноатомные спирты – пропанол [14] и этанол [15]. Подобные исследования влияния матричного окружения на молекулы органических кислот проводились в работах [16, 17].

Методология исследования. Квантово-химическое моделирование проводилось при помощи программы Gaussian09 методом DFT в приближении B3LYP/сс-pVTZ. Результаты моделирования сравниваются с экспериментально зарегистрированными спектрами метанола, изолированного в низкотемпературной аргоновой матрице [1, 8, 9], а также жидкого и газообразного метанола [1, 2, 18].

Результаты и обсуждение. В результате квантово-химического моделирования оптимальной геометрической структуры и спектров ИК поглощения мономера, димера и тримера метанола в вакууме и аргоновой среде были рассчитаны величины смещения колебательных полос под воздействием окружения [5, 6], которые приведены в таблице 1. Также в этой таблице показаны экспериментально зарегистрированные полосы ИК поглощения метанола в газовой фазе [18] и в аргоновой матрице [1].

Как видно, наблюдается достаточно хорошая корреляция между рассчитанными и экспериментально зарегистрированными матричными сдвигами спектральных полос. Направление сдвига совпадает для всех полос, поскольку и расчет, и эксперимент показывают увеличение частоты на несколько единиц волновых чисел. Величины смещений также имеют один и тот же порядок, только в случае валентных С-Н колебаний рассчитанные смещения на порядок меньше, чем экспериментальные. Это может быть связано с ангармоничностью данных колебаний, которая не учитывалась при выполнении расчетов. По этой же причине расходятся рассчитанные и зарегистрированные значения частот деформационных СОН и НСН колебаний.

Таблица 1. Сравнение рассчитанных и экспериментально зарегистрированных частотных сдвигов спектральных полос метанола в присутствии аргона

Тип колебания	моделирование			эксперимент		
	$\nu_{\text{вакуум}}$ [6], см^{-1}	$\nu_{\text{аргон}}$ [6], см^{-1}	$\Delta\nu$, см^{-1}	$\nu_{\text{газ}}$ [18], см^{-1}	$\nu_{\text{матрица}}$ [1], см^{-1}	$\Delta\nu$, см^{-1}
Вал. С – О	1029,2	1035,8	6,6	1031,5	1033	1,5
Вал. С – О тример	1037,6	1040,8	3,2	1045	1052	7
	1040,2	1042,1	1,9	1065	1076	11
Деф. СОН	1411,9	1419,9	8,1	1321	1330	9
	1415,2	1427,3	12,1	1331	1337	6
	1460,6	1468,5	7,9	1346	1340	6
				1358	1366	8
				1371	1379	8
Деф. НСН	1487,3	1488,1	0,8	1454	1466	12
	1490,8	1496,7	5,9	1471	1474	3
	1492,1	1498,2	6,1			
Вал. С – Н	2947,3	2947,6	0,3	2826	2832	6
	2966,5	2967,0	0,5	2844	2846	2
	2996,0	2996,1	0,1	2865		

	3047,9 3086,9 3088,3	3049,0 3087,5 3088,5	1,1 0,6 0,2	2922 2940 2972	2929 2955 2961 3005	7 15
Вал. О – Н	3810,8	3774,2	- 36,6	3681	3665	-16

В таблице 2 показаны рассчитанные величины смещений полос метанола в метаноле относительно соответствующих полос метанола в вакууме, которые сравниваются с экспериментально зарегистрированными в работе [18] смещениями полос в спектре ИК поглощения жидкого метанола относительно тех же полос в газообразном метаноле.

Таблица 2. Сравнение рассчитанных и экспериментально зарегистрированных частотных сдвигов спектральных полос метанола в метанольной среде

Тип колебания	моделирование			эксперимент		
	$\nu_{\text{вакуум}} [6], \text{см}^{-1}$	$\nu_{\text{аргон}} [6], \text{см}^{-1}$	$\Delta\nu, \text{см}^{-1}$	$\nu_{\text{газ}} [18], \text{см}^{-1}$	$\nu_{\text{жидкость}} [18], \text{см}^{-1}$	$\Delta\nu, \text{см}^{-1}$
Вал. С – О	1029,2	1033,1	3,9	1031,5	1022	- 9,5
Деф. СОН	1172,0	1182,4	10,4	1114	1114	0
Деф. НСН	1477,8	1482,7	4,9	1454	1410	-34
	1484,6	1488,1	3,5	1471	1452	-19
Вал. С – Н	2947,3	2947,6	0,3	2826	2831	5
	2966,5	2967,0	0,5	2844		
	2996,0	2996,1	0,1	2865		
	3047,9	3049,0	1,1	2922	2933	11
	3086,9	3087,5	0,6	2940	2943	3
	3088,3	3088,5	0,2	2972	2981	
Вал. О – Н мономер	3810,8	3775,5	- 35,3	3681	-	
Вал. О – Н тример	3509,7	3510,0	0,3	3370	3315	-55

Сравнивая рассчитанные и экспериментально зарегистрированные смещения для молекул метанола в метанольной среде, видно, что корреляция между ними отсутствует. Так, для валентных С – О колебаний расчет дает смещение в высокочастотную сторону на $3,9 \text{ см}^{-1}$, тогда как полоса валентных С – О колебаний в жидком метаноле наблюдается на частоте 1022 см^{-1} , что на $9,5 \text{ см}^{-1}$ меньше, чем в спектре газовой фазы. Таким образом, не совпадает не только величина, но и направление смещения. Полоса деформационных колебаний с изменением угла СОН в жидкости и газе не меняет своего положения, а расчет показывает смещение на $10,4 \text{ см}^{-1}$. Смещения полос деформационных НСН колебаний также не совпадают ни по направлению, ни по величине. Наблюдается совпадения направления смещения полос только для валентных С – Н колебаний, хотя величина смещений отличаются на порядок. Ситуация с валентными О – Н колебаниями усложняется тем, что частота этой полосы кардинально зависит от наличия водородной связи между молекулами. В газообразном метаноле наблюдает полоса свободной гидроксильной группы на частоте 3370 см^{-1} , а в жидкости она отсутствует в связи с тем, что все молекулы задействованы в формировании водородно-связанных кластеров, поэтому частота валентных колебаний гидроксильных групп уменьшается до 3315 см^{-1} . Поскольку в жидком метаноле образуются кластеры различного размера, для каждого из которых характерна своя частота валентных О – Н колебаний [1, 8, 9], то не совсем корректно сравнивать значения с результатами моделирования только для тримера.

Выводы. Рассчитанные методом DFT в приближении B3LYP/cc-pVTZ величины смещений спектральных полос метанола в вакууме и аргоне хорошо

согласуются с величинами смещений соответствующих полос в спектрах метанола, изолированного в аргоновой матрице, относительно полос в спектрах газообразного метанола. Такое согласие говорит о том, что данный метод моделирования можно эффективно использовать для моделирования матричных сдвигов при интерпретации спектров одноатомных спиртов в матричной изоляции, поскольку он позволяет адекватно оценить величину и направление смещения спектральных полос под воздействием аргонового окружения.

Рассчитанные таким же методом смещения для метанола в метанольной среде не согласуются с экспериментально зарегистрированными смещениями полос жидкого метанола относительно газообразного. Это показывает, что такой подход не позволяет правильно учитывать влияние на молекулу метанола других молекул метанола, которые находятся вокруг неё. Действительно, в жидком состоянии между молекулами метанола, как и других спиртов, формируются водородные связи, в результате чего возникают кластеры, состоящие из разного количества молекул. Образование водородных связей существенно влияет на физические и химические свойства вещества, в том числе и на их спектральные проявления. Поэтому для анализа отличий колебательных спектров метанола в различных агрегатных состояниях необходимо учитывать наличие водородных связей, а не просто присутствие метанольного окружения вокруг молекулы.

Список использованной литературы

1. Дорошенко И., Погорелов В., Пицевич Г., Шаблинскас В. Кластерная структура жидких спиртов. - LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany. - 2012. – 288 с.
2. Чернолевская Е., Васкивский Е., Дорошенко И. Кластерная структура одноатомных спиртов в конденсированном состоянии. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany. - 2016. – 82 с.
3. V.Pogorelov, A.Yevglevsky, I.Doroshenko, L.Berezovchuk, Yu.Zhovtobryuch. Nanoscale molecular clusters and vibrational relaxation in simple alcohols // Superlattices and microstructures. – 2008. – v.44, N 4-5. – P. 571-576.
4. Z. Mielke, S. Coussan, K. Mierzwicki, P. Roubin, M. Saldyka. The Complexes between CH₃OH and CF₄. Infrared Matrix Isolation and Theoretical Studies // J. Phys. Chem. A. – V. 110. – 2006. – P. 4712 - 4718.
5. Некбоев А.А., Куйлиев Б.Т., Онук М.М., Дорошенко И.Ю., Гулмуратова Д.Б. Квантово-химическое моделирование влияния аргонового окружения на колебательные спектры метанола // Узбекский физический журнал. Vol. 25, No. 4, pp. 9-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.52304/v25i4.470>
6. I. Doroshenko, D. Kostsiukevych, M. Onuk, A. Nekboev, B. Kuyliyev. Argon environment influence on vibrational spectra of methanol // Trends in Physical Chemistry. – V. 23. – 2023. – P. 41 – 49.
7. M. Van Thiel, E. D. Becker, G.C. Pimentel. Infrared Studies of Hydrogen Bonding of Methanol by the Matrix Isolation Technique // J. Chem. Phys. – 1957. – V. 27. – P. 95–99.
8. I. Doroshenko, V. Pogorelov, V. Sablinskias, V. Balevicius. Matrix-isolation study of cluster formation in methanol: O-H stretching region // J. Mol. Liq. – 2010. - V.157. - P.142-145.
9. Дорошенко И.Ю. Исследование процесса формирования кластерной структуры метанола методом матричной изоляции в спектральной области C-O и O-H колебаний // Физика низких температур. – 2011. – 37. – №7. – С.764-770.
10. Saenko E.V., Feldman V.I. Radiation-induced transformations of methanol molecules in low-temperature solids: a matrix isolation study // Phys Chem Chem Phys. – 2016. – V.18(47). – P. 32503-32513.
11. Pitsevich G.A., Doroshenko I.Yu., Pogorelov V.Ye., Umrejko D.S. Quantum chemical simulation and low-temperature FTIR investigations of the structure and spectral characteristics of methanol monomer and dimer in an argon matrix // Journal of Spectroscopy and Dynamics. – 2011. – V. 1, N.2 : 9 (1-6).
12. V. Pogorelov, Ye. Chernolevska, Ye. Vaskivskiy, Lars G.M. Pettersson, I. Doroshenko, V.Sablinskias, V. Balevicius, Ju. Ceponkus, K. Kovaleva, A. Malevich, G. Pitsevich. Structural transformations in bulk and matrix-isolated methanol from measured and computed infrared spectroscopy // Journal of Molecular Liquids, v. 216, 2016, pp. 53-58.
13. A. Vasylieva, I. Doroshenko, O. Doroshenko, V. Pogorelov. Effect of argon environment on small water clusters in matrix isolation // Fyzyka Nyzkykh Temperatur. – 2019. - V. 45, №6. - P. 736-743.
14. I. Doroshenko, M. Onuk, L. Meyliyev, B. Kuyliyev. Conformational composition of propanol in gaseous state and in matrix isolation // Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2022. – 747(1), - P. 81–90.

15. I. Doroshenko, M. Onuk, A. Nekboev, B. Kuyliiev. Influence of an argon matrix on trapped ethanol clusters // *Fizyka Nyzkykh Temperatur*, 2025, Vol. 51, No. 4, P. 532–543.
16. Степаньян С. Г., Адамович Л. Влияние матриц на низкотемпературные ИК спектры молекулы муравьиной кислоты, изолированной в кристаллах инертных газов. *Физика низких температур*. - 2020. - Т. 46, № 2. - С. 192-203.
17. S. G. Stepanian, A. Yu. Ivanov, L. Adamowicz. Effect of low-temperature argon matrices on the IR spectra and structure of flexible N-acetylglycine molecules // *Low Temp. Phys.* – 2016. – V.42. – P. 1167–1174.
18. I.Doroshenko, V.Pogorelov, V.Sablinskas. Infrared absorption spectra of monohydric alcohols // *Dataset Papers in Chemistry*. – 2013. - V. 2013, 329406.

ELECTRON AND HOLE CONCENTRATION IN INTRINSIC SEMICONDUCTORS

Muminov Islomjon Arabboyevich

Associate Professor, Department of Physics,
Fergana State University

ima220790@mail.com

ORCID 0000-0001-5892-9937

UDK 537.311.33

Abstract. This article provides an in-depth analysis of methods for determining electron and hole concentrations in degenerate semiconductors. Semiconductors become degenerate when the Fermi energy level approaches very closely to either the conduction or valence bands. In such semiconductors, the concentration of charge carriers is determined through specific physical parameters. Due to the impossibility of solving integral equations analytically, approximate calculations based on parameters α and β are utilized. The article presents methods for calculating electron and hole concentrations and determining the Fermi energy level for the specific case when α and β parameters equal zero. Additionally, calculation methods for cases with high donor or acceptor concentrations are thoroughly examined. Furthermore, the implications of degeneracy on the transport properties and overall device performance are discussed. The influence of temperature variations and doping levels on the behavior of degenerate semiconductors is also considered.

Keywords: Fermi energy level, electron and hole concentrations, parameters α and β , conduction and valence bands, theory of degenerate semiconductors, donor and acceptor impurities, approximate solutions of integral equations, fundamental concepts of semiconductor physics.

XUSUSIY YARIMO‘TKAZGICHLARDA ELEKTRON VA KOVAKLAR KONSENTRATSIYASI

Annotatsiya. Ushbu maqolada aynigan yarimo‘tkazgichlarda elektron va kovaklar konsentratsiyasini aniqlash usullari chuqur tahlil etilgan. Yarimo‘tkazgich Fermi energetik sathi o‘tkazuvchanlik yoki valentlik zonasiga juda yaqin bo‘lganda aynigan holatga o‘tadi. Bunday yarimo‘tkazgichlarda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi ayrim fizik parametrlar orqali topiladi. Integral tenglamalarni analitik usullar bilan yechishning imkoni yo‘qligi sababli, konsentratsiyalar α va β parametrlari asosida taxminiy hisoblash yo‘llari orqali aniqlanadi. Maqolada α , β parametrlari nol qiymatga ega bo‘lgan holatlar uchun elektron va kovak konsentratsiyasi hamda Fermi energetik sathini aniqlash metodlari taqdim etilgan. Yuqori donor yoki akseptor konsentratsiyalari uchun hisoblash usullari batafsil ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, ayniganlikning tashuvchi transport xususiyatlariga va umumiy qurilma samaradorligiga ta’siri muhokama qilingan. Harorat o‘zgarishlari va legirlash darajasining aynigan yarimo‘tkazgichlarning xatti-harakatiga ta’siri ko‘rib chiqilgan. Zamonaviy yarimo‘tkazgich qurilmalarini ishlab chiqishda zaryad tashuvchilarning aniq konsentratsiyasini baholashning ahamiyatini ko‘rsatuvchi amaliy misollar keltirilgan. Bundan tashqari, amaliy yarimo‘tkazgich tadqiqotlarida aniq modellashtirish va tahlil qilish uchun raqamli dasturiy vositalar yordamida hisoblash yondashuvlari tavsiya etilgan.

Kalit so‘zlar: Fermi energetik sathi, elektronlar va kovaklarning konsentratsiyasi, α va β parametrlar, o‘tkazuvchanlik hamda valent zonalar, aynigan yarimo‘tkazgichlar nazariyasi, donor va akseptor tipidagi aralashmalar, integral tenglamalarning taxminiy yechimlari, yarimo‘tkazgichlar fizikasining fundamental tushunchalari.

Introduction. Intrinsic semiconductors are pure semiconductor materials whose electrical properties are determined exclusively by thermal excitation of electrons from the valence band into the conduction band. At thermal equilibrium, the concentrations of

electrons and holes are equal and defined as intrinsic carrier concentration (n_i). The intrinsic carrier concentration is strongly temperature-dependent and varies with semiconductor material properties, such as the bandgap energy and effective masses of electrons and holes. Understanding electron and hole concentrations in intrinsic semiconductors is crucial, as it serves as a foundational concept in semiconductor physics and underpins the analysis of carrier transport phenomena in electronic and optoelectronic devices. When the Fermi energy level is located very close to or within the conduction band, electrons become degenerate. Similarly, when the Fermi energy level is positioned very close to or within the valence band, holes also become degenerate. Such situations refer to degenerate semiconductors. In degenerate semiconductors, the concentration of charge carriers is determined using the following expressions:

$$n = 4\pi \left(\frac{2m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \int_0^\infty \frac{x^{1/2}}{e^{x-\alpha} + 1} dx, \quad (1)$$

here,

$$\alpha = \frac{\mu - E_c}{kT},$$

considering the relationships $E_v - C = ykT$ and $\beta = \frac{E_v - \mu}{kT}$,

$$p = 4\pi \left(\frac{2m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \int_0^\infty \frac{y^{1/2}}{e^{y-\beta} + 1} dy \quad (2)$$

we obtain these expressions. The integrals in equations (1) and (2) cannot be solved analytically. These integrals depend on parameters, and their approximate solutions can be found depending on the values of α and β .

$$n = 4\pi \left(\frac{2m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \cdot F_{1/2}(\alpha); \quad (3)$$

$$p = 4\pi \left(\frac{2m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} F_{1/2}(\beta). \quad (4)$$

Since for intrinsic semiconductors $n = p = n_i$,

$$m_n^{*/2} F_{1/2}(\alpha) = m_p^{*/2} F_{1/2}(\beta) \quad (5)$$

we obtain this expression. This equation enables the determination of the Fermi energy level in degenerate semiconductors. It should be noted that in practical semiconductors, electrons and holes never become degenerate simultaneously. In a given semiconductor, either electrons or holes will be degenerate, but not both at the same time. For this to occur, the concentration of donors or acceptors must be sufficiently high (impurity atoms should constitute at least 10^{-8} of the primary atoms forming the semiconductor's main structure).

Research Methodology. The research methodology employed in this study is primarily theoretical and computational, grounded firmly in the fundamental principles of semiconductor physics. Initially, relevant equations governing intrinsic semiconductor behavior, such as those describing intrinsic carrier concentrations, Fermi energy levels, and effective density of states, are systematically derived. Subsequently, calculations are performed using standard semiconductor physics parameters, including effective electron and hole masses, energy bandgap values specific to semiconductor materials, temperature-dependent variables, and fundamental physical constants. Analytical techniques and mathematical modeling are applied to elucidate the temperature dependency and intrinsic properties of electrons and holes. Finally, the theoretical findings are critically compared with established data from semiconductor literature to validate the accuracy and reliability of the derived theoretical models and computational approaches.

Highly degenerate states ($\alpha, \beta > 5$) rarely occur in semiconductors, whereas states around $\alpha, \beta \sim 0$ are frequently encountered. In such cases, it is convenient to apply the Ehrenburg approximation. Specifically, when $\alpha = 0$, the Fermi energy level for an n-type semiconductor coincides exactly with the lowest energy level of the conduction band, and the electron concentration is given by

$$n = \frac{8}{5} \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^3} \right)^{1/9}, \quad (6)$$

is equal to this expression.

If the semiconductor is a p -type semiconductor and the Fermi energy level coincides exactly with the highest energy level of the valence band (i.e., $\beta = 0$), the hole concentration is given by

$$p = \frac{8}{5} \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2}. \quad (7)$$

Results and Discussions. The intrinsic carrier concentration (n_i) obtained from theoretical calculations shows significant temperature dependence, increasing exponentially as temperature rises due to thermal excitation across the semiconductor's energy bandgap (E_g). The results indicate that higher temperatures lead to a marked increase in electron and hole concentrations. Consequently, the position of the Fermi energy level slightly shifts within the energy gap depending on the effective masses of electrons and holes. At typical operational temperatures, the Fermi level remains close to the midpoint between the conduction and valence band edges.

Comparative analyses demonstrate strong agreement between calculated theoretical results and previously reported experimental data, affirming the accuracy and reliability of the applied computational and theoretical models. These findings confirm the validity of the derived equations and their effectiveness in predicting intrinsic semiconductor behavior under varying thermal conditions.

Let us now consider the case where $\alpha, \beta = 0$. First, we examine an n -type semiconductor. If we neglect electrons transitioning from the valence band to the conduction band,

$$n = N_d - n_d \quad (8)$$

we obtain from equations (4) and (8):

$$F_{1/2}(\alpha) = \frac{N_d h^3}{4\pi(2m_n^* kT)^{3/2}} \cdot \frac{1}{e^{\alpha + \frac{\Delta E_d}{kT}} + 1}$$

According to the Ehrenburg approximation,

$$\frac{2\sqrt{\pi} \cdot e^x}{4 + e^x} = \frac{N_d h^3}{4\pi(2m_n^* kT)^{3/2}} \cdot \frac{1}{e^{\alpha + \frac{\Delta E_d}{kT}} + 1} \quad (9)$$

we obtain this expression, which allows us to determine the Fermi energy level. The electron concentration is given by:

$$n = 4\pi \left(\frac{2m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} F_{1/2} = \frac{8e^\alpha}{4 + e^\alpha} \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2}. \quad (10)$$

If we find the value of e^a from equation (9) and substitute it into equation (10), we obtain the numerical value of the electron concentration in a degenerate semiconductor. By performing a similar calculation for degenerate p -type semiconductors, we derive the following expressions for the Fermi energy level and hole concentration:

$$4\pi \left(\frac{2m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} F_{1/2}(\beta) = \frac{N_a}{e^{\frac{\Delta E_a}{kT} + \beta} + 1}, \quad (11)$$

or

$$\begin{aligned} \frac{2N\pi e^\beta}{4 + e^\beta} &= \frac{N_a h^3}{4\pi(2m_p^* kT)^{3/2}} \cdot \frac{1}{e^{\frac{\Delta E_a}{kT} + \beta} + 1}, \\ p_p &= \frac{8e^\alpha}{4 + e^\beta} \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Conclusion. In the specific case where all impurities are fully ionized, that is, for an n -type semiconductor $n_n = N_d$, and for a p -type semiconductor $p_p = N_a$, the Fermi energy level in a degenerate n -type semiconductor is given by (Fig. 1).

Figure 1 degenerate n -type semiconductor description:

1. The diagram shows the energy band structure of a degenerate n -type semiconductor, in which the Fermi level (μ) is located inside or very close to the conduction band (E_c). The conduction band is filled with a high concentration of electrons, indicated by the hatched region, representing the partially filled density of states. The valence band (E_v) lies significantly below the Fermi level, indicating negligible hole population.

2. In such semiconductors, due to heavy doping with donor atoms, the carrier concentration becomes so high that the Fermi level rises into the conduction band. This violates the classical non-degenerate approximation (Maxwell-Boltzmann statistics) and requires the use of Fermi-Dirac statistics. The system behaves more like a metal with high conductivity due to the abundant free electrons. This situation typically arises when donor impurity concentration $N_d \gg 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ and the semiconductor is in a degenerate regime.

Figure 2 degenerate p-type semiconductor description:

3. This diagram illustrates the energy structure of a degenerate p -type semiconductor where the Fermi level (μ) is positioned inside or very close to the valence band (E_v). The valence band is partially filled with holes, as shown by the vertically hatched region, and the conduction band lies far above the Fermi level. The energy level E_a may refer to an acceptor level, but the dominant process is thermal activation into the valence band.

4. This represents a heavily acceptor-doped semiconductor where the acceptor level is shallow and the hole concentration is sufficiently high to cause the Fermi level to fall into the valence band. Similar to the n -type case, Fermi-Dirac statistics are essential, and the material exhibits metal-like behavior in terms of hole conduction. This regime appears when acceptor concentration $N_A \gg 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ and the number of available states in the valence band becomes significantly occupied by holes.

Degenerate n -type and p -type semiconductors occur under extreme doping conditions. Their electronic transport properties are governed by quantum statistics, and they exhibit characteristics that deviate from classical semiconductor models. These diagrams are crucial in understanding thermoelectric, magnetoresistive, and optoelectronic device behavior under high carrier densities.

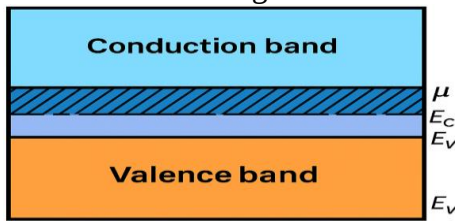


Figure 1. Energy diagram of a degenerate n -type semiconductor; $\mu - E_c$ represents the electron-filled portion of the conduction band.

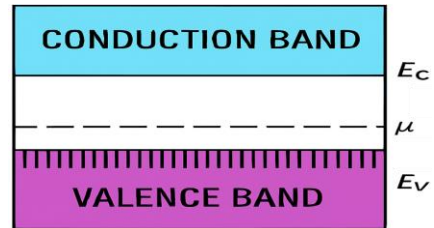


Figure 2. Energy diagram of a degenerate p -type semiconductor; $E_v - \mu$ represents the hole-filled portion of the valence band.

$$\mu = E_c + kT \ln \frac{4N_a h^3}{8(2\pi m_n^* kT)^{3/2} - N_a h^3} \quad (13)$$

and for a degenerate p -type semiconductor (Figure 2):

$$\mu = E_v - kT \ln \frac{4N_a h^3}{8(2\pi m_p^* kT)^{3/2} - N_a h^3} \quad (14)$$

is determined by the following expression.

References

1. Rustamovich, R. V., Yavkachovich, R. R., Forrux, K., & Arabboyevich, M. I. (2021). Theoretical Analysis of Multiphoton Interband Absorption of Polarized Light in Crystals with a Complex Zone (Part 1). *European Science Review*, (3-4), 48–51pp.
2. Rasulov, R. Ya., Rasulov, V. R., Ahmedov, B. B., & Muminov, I. A. (2022). Межзонный

двухфотонный линейно-циркулярный дихроизм в узкозонных полупроводниках. *Узбекский физический журнал*, 24(1), 19–26pp.

3. Rasulov V.R., Rasulov R.Ya., Urinova K.K., Akhmedov B.B. Dimensional quantization in InSb and GaAs in three-zone model, *Journal of Physics Conference Series*, APITECH-V, 06.06.2024, 1-5 pp. Scopus (Q4).

4. Rasulov V.R., Rasulov R.Ya., Urinova K.K., Akhmedov B.B. Analysis of kinetic properties and tunnel-coupled states in asymmetrical multilayer semiconductor structures, *Journal of Physics Conference Series*, East European Journal of Physics: DOI:10.26565/2312-4334-2024-2-27, ISSN 2312-4334, 2.04.2024, Scopus (Q4).

5. Rasulov V. R., Rasulov R. Ya., Muminov. I.A., Nasirov M. Kh., Mamatova M. M.. Theory of size quantization in monolayers of transition metal dichalcogenides, *Physica Scripta*, 105987. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad7546> (Scopus, IF=3.7) 13.09.2024., 1-7 pp.

6. А.Й.Анселм. Введение в теорию полупроводников. М., «Наука», 1978.

7. Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках. - Ленинград: Наука, 1970.

8. M.Azizov. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Toshkent, «O'qituvchi», 1974 yil.

9. R.Ya.Rasulov, B.Ahmedov, I.Mo'minov, B.Umarov, Tetraedr va geksagonal panjarali kristallar, *Monografiya.*, 2022, p. 27-33.

10. Neil W. Ashcroft, N.David Mermin, "Solid State Physics", USA 1976.

11. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. - М.: Наука, 1983. - С. 50-55.

12. Yu. N. Goryainov, V. A. Zvyagin - "Krisallografiya", 1972.

13. Дячков П.Н. // Углеродные нанотрубки. Материал для компьютеров XXI века. Природа № 11, 2000. - С.34-36.

14. A. N. Vasiliev, "Krisallografiya. Vvedenie v kurs", 2001.

15. Чаплыгин А.Н. Нанотехнологии в электронике. - М.: Техносфера, 2005. - С.5-18.

16. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. - М.: Наука, 1988.

17. Звелто О. Принципы лазеров. - М.: Мир, 1990.

18. Качалаев Ю.И., Сахаров В.Е. Квантовая механика и статистическая физика. - 1978.

19. Крылов К. И. и др. Основы лазерной техники. - Л.: Машиностроение, 1990.

20. Tursunov A. T., Tuxliboyev O. Kvant elektronikasiga kirish. T.: O'qituvchi, 1992.

21. Тарасов Л. В. Физические основы квантовой электроники. - М.: Советское радио, 1976.

22. Rasulov V.R., Rasulov R.Ya., Muminov I.A., Mamatova M.A., Isomiddinova U.M. Energy states of current carriers in multilayer semiconductor structures. wentzel-kramers-brillouin approximation / *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences* N:9, DOI:10.29013/AJT-23-9.10-52-56. 2023, 52-56 pp.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ УЧАСТИИ КИСЛОРОДА В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ

Сирожидин Зайнабидинов

Андижанский государственный университет, профессор

prof_sirojiddin@mail.ru

ORCID 0000-0003-2943-5844

Хотамжон Мансуров

Андижанский государственный университет доцент

hjmansurow@gmail.com

ORCID 0009-0006-4571-7795

Билолиддин Эргашев

Андижанский государственный университет, базовый докторант

ORCID 0009-0007-9392-6548

ergashev_biloliddin@mail.ru

Муродилжон Хотамов

Андижанский государственный университет, студент

УДК 539.2:621.315.592

Аннотация. Установлено, что поверхность монокристаллических образцов $p\text{-Si}$ ориентирована по кристаллографическому направлению (111). При температуре 950 °С, в связи с относительно низкой интенсивностью диффузионных процессов, размеры субкристаллитов (59,7 нм) практически не изменяются. При 1050 °С наблюдается процесс перекристаллизации, приводящий к увеличению их размеров до 61,1 нм. При дальнейшем повышении температуры до 1150 °С происходит разрушение и повторное формирование субкристаллитов, в результате чего их размеры

уменьшаются до 57,4 нм. В результате взаимодействия атомов кремния, бора и кислорода формируются кристаллиты оксида кремния (SiO_2) и оксида бора (B_2O_3), относящиеся к тригональной элементарной ячейке с пространственной группой $P3_221$. Для SiO_2 параметры решетки составляют: $a_{\text{exp}} = b_{\text{exp}} = 0,5031$ нм, $c_{\text{exp}} = 0,5527$ нм; размер кристаллитов - 21–25 нм. Для B_2O_3 : $a_{\text{exp}} = b_{\text{exp}} = 0,4415$ нм, $c_{\text{exp}} = 0,8812$ нм; размер кристаллитов - 55 нм.

В приповерхностных областях монокристаллических образцов $p\text{-Si}<\text{B}>$ после термической обработки при температурах 950 °C, 1050 °C и 1150 °C наблюдается формирование кластеров размером 2 нм, 1,6 нм и 1,7 нм соответственно.

Ключевые слова: состояния дефектов, рентгеновская дифракция, кристаллографическая ориентация, субкристаллические структуры, микродефекты, кластерообразование.

Annotatsiya. Monokristall $p\text{-Si}<\text{B}>$ namunasining yuza qismi kristallografik jihatdan (111) yoʻnalishga egaligi 950°C haroratda diffuziya jarayoni nisbatan past haroratda kechgani sababli, subkristallitlar oʻlchami (59,7 nm) deyarli oʻzgarmasligi aniqlanildi. 1050°C haroratda qayta kristallanish jarayoni roʻy beradi va natijada subkristallitlar oʻlchami 61,1 nm gacha ortdi, 1150°C haroratda esa subkristallitlar yemirilib, qayta shakllanishi natijasida ularning oʻlchami 57,4 nm gacha kamaydi. Kremniy, bor va kislorod atomlarining oʻzaro taʼsiri natijasida trigonal elementar yacheykaga ega boʻlgan, $P3_221$ fazaviy guruhiga mansub SiO_2 va B_2O_3 kristallitlari shakllanishi aniqlandi. SiO_2 uchun $a_{\text{exp}} = b_{\text{exp}} = 0,5031$ nm va $c_{\text{exp}} = 0,5527$ nm boʻlib, kristallitlar oʻlchami 21÷25 nmni tashkil qildi. B_2O_3 uchun esa $a_{\text{exp}} = b_{\text{exp}} = 0,4415$ nm va $c_{\text{exp}} = 0,8812$ nm boʻlib, kristallitlar oʻlchami 55 nmga teng ekanligi aniqlandi. Termik ishlovdan soʻng (950°C, 1050°C va 1150°C) $p\text{-Si}<\text{B}>$ monokristall namunalarining yuza qatlamlarida mos ravishda 2 nm, 1,6 nm va 1,7 nm oʻlchamga ega klasterlar hosil boʻlishi kuzatildi.

Kalit soʻzlar: Defekt holatlari, rentgen nurlarining difraktsiyasi, kristallografik yoʻnalish, subkristallik tuzilmalar, mikrodefektlar, klaster hosil boʻlishi.

Введение. Современная нанoeлектроника требует высокочистых и совершенных полупроводниковых кристаллов, среди которых монокристаллический кремний занимает одно из ведущих мест благодаря отработанным технологиям и низкой стоимости. Основными методами промышленного производства Si являются метод Чохральского и безтигельной зонной плавки, при этом метод Чохральского используется примерно в 80% случаев[1-3].

При выращивании монокристаллического кремния важна минимизация количества неконтролируемых примесей, поскольку их избыток приводит к искажению кристаллической решётки и образованию дефектов, влияющих на свойства материала. Одной из таких примесей является кислород, который в процессе кристаллизации из расплава переходит в кремний, частично растворяясь в нём и формируя оксидные включения SiO_x размером от 1 до 50 мкм. При термообработке кремния в температурном интервале 400–800°C пересыщенный кислород образует различные комплексы типа $\text{Si}-\text{O}_n$ ($n = 1-4$) [4-6]. Часть этих комплексов распадается с выделением SiO_2 или осаждается в междоузлиях кристаллической решётки Si в электрически нейтральных состояниях. Это вызывает формирование дефектных состояний, влияющих на электрические свойства кремния.

Форма, тип и размеры таких микрообразований зависят от технологических условий выращивания монокристаллов и последующих термообработок. Данная проблема до настоящего времени остается нерешённой, так как влияет не только на электрофизические характеристики, но и на структурные параметры кристалла. Анализ литературных данных показывает, что кислород может образовывать нестехиометрические слои SiO_x , микрообъединения типа преципитатов и аморфные частицы SiO_2 , что значительно затрудняет изучение структуры и поведения кислорода в кремниевом кристалле. Основным методом исследования таких характеристик кислорода в монокристаллическом кремнии является рентгенодифракционный анализ [7-9]. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование структурных неоднородностей, формируемых при участии кислорода в монокристаллическом кремнии, выращенном методом Чохральского.

Образцы и методика исследования. Объектом исследования являлось монокристаллический кремний p -типа, выращенный методом Чохральского с удельным сопротивлением $\rho \approx 3 \div 10 \text{ } \Omega \cdot \text{см}$, концентрацией примеси бора $N_p \approx 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, плотностью дислокаций $N_d \geq 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и концентрацией кислорода $N_O \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Образцы с размерами 1,4x4x22 мм³ были изготовлены из вырезанных пластин монокристаллического кремния.

Контроль структурных и фазовых состояний, О в Si исследуемых образцов проводилось на рентгеновском дифрактометре третьего поколения типа Empyrean Malvern PANalytical L.T.D. Для определения максимума пика использовалась программа OriginPro2022 [10]. Рентгено дифракционные измерения проводились в геометрии пучка Брэгга – Брентано в диапазоне 2θ = от 15° до 140° непрерывно со скоростью сканирования 0.33 градуса/мин и угловым шагом 0.0200 (град).

Результаты и их обсуждения. В течение 5 часов были проведены термические обработки монокристаллического p-Si (контрольных образцов) при температурах 950°C, 1050°C и 1150°C. На рис. 1 приведены рентгенограммы этих образцов. Из рентгенограмм видно, что на углах рассеяния 2θ = 28,53°, 28,5° и 28,45° наблюдаются дифракционные отражения, соответствующие (111)Si кристаллографической ориентации, обладающие высокой интенсивностью ($I_{Si,(950^\circ C)} = 3 \times 10^6$ имп/с, $I_{Si,(1050^\circ C)} = 4,7 \times 10^6$ имп/с и $I_{Si,(1150^\circ C)} = 1,4 \times 10^6$ имп/с) и выраженной селективный характер. Это свидетельствует о том, что поверхность контрольных образцов кремния имеет кристаллографическую ориентацию (111). Также отметить, что с увеличением температуры обработки, дифракционные пики смещаются в сторону меньших углов (с 28,53° до 28,45°), а их интенсивность сначала увеличивается в 1,6 раза (при 1050°C), а затем уменьшается в 2,1 раза (при 1150°C). Это указывает на то, что при термической обработке в течение 5 часов происходит перераспределение атомов и уменьшение количество дефектов в кристалле и увеличение параметра решетки кремния: $a_{Si,(950^\circ C)} = 0,534$ нм, $a_{Si,(1050^\circ C)} = 0,535$ нм и $a_{Si,(1150^\circ C)} = 0,536$ нм. Таким образом, при 1050°C достигается максимальная степень кристалличности, а при 1150°C наблюдается ее снижение. Кроме того, на углах рассеяния 2θ = 94,95°, 94,94° и 94,98° зафиксированы дифракционные отражения, соответствующие (333)Si кристаллографической ориентации, с интенсивностями $I_{Si,(950^\circ C)} = 2,3 \times 10^4$ имп/с, $I_{Si,(1050^\circ C)} = 8,9 \times 10^4$ имп/с и $I_{Si,(1150^\circ C)} = 4,5 \times 10^5$ имп/с. В диапазоне углов рассеяния 10°÷60° можно наблюдается немонотонный характер неупругого фонового уровня. При этом структурные отражения (111)Si слабо разделяются на компоненты α_1 и α_2 , тогда как при (333)Si демонстрируют заметное разделение этих компонентов. Это свидетельствует о том, что в результате термической обработки при 950°C, 1050°C и 1150°C в поверхностных областях образцов формируются микронапряжения (дислокации или другие дефекты), тогда как во внутреннем объеме кристаллической решетки происходит их стабилизация [7]. Кроме того, на углах рассеяния 2θ = 25,7° и 2θ = 83,3° наблюдаются β -составляющие отражений первого порядка (111)Si и третьего порядка (333)Si (см. рис. 2 а и 2 с).

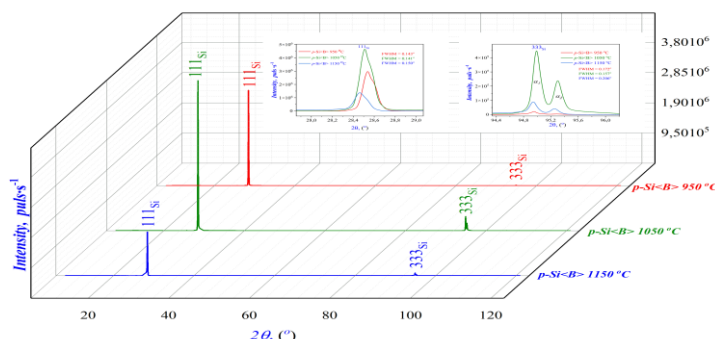


Рис. 1. Рентгенограммы образцов p-Si подвергнутых термической обработке при 950°C, 1050°C и 1150°C.

Согласно экспериментальным результатам по дифракционным отражениям первого порядка (111)Si, было установлено, что размеры субкристаллитов в кремниевых контрольных образцах, подвергнутых термической обработке в течение 5 часов при 950°C, 1050°C и 1150°C, соответственно составляют 59,7 нм, 61,1 нм и

57,4 нм. Это, в свою очередь, указывает на то, что при 950°C из-за относительно низкой температуры диффузии состояние субкристаллитов не претерпело значительных изменений, при 1050°C в результате процесса перекристаллизации т.е. за счёт присоединения субкристаллитов их размер пика увеличился, а при 1150°C интенсивность пика уменьшился из-за активизации процессов удаления и повторного формирования субкристаллитов. Также на рентгенограммах при углах рассеяния $2\theta = 63,2^\circ$ и $105,1^\circ$ наблюдаются структурные отражения, соответствующие (220)Si и (440)Si (см. рис. 2 с и 2 d). Это свидетельствует о наличии в p-Si поликристаллических областей различного размера (от 11 нм до 87 нм), распределенных как на поверхности, так и в объеме образцов.

Кроме того, на рентгенограммах кремниевых контрольных образцов, подвергнутых термической обработке в течение 5 часов при температурах 950°C, 1050°C и 1150°C, на углах рассеяния $2\theta = 58,8^\circ$, $59,0^\circ$ и $58,9^\circ$ наблюдается структурное отражение, соответствующее (222)Si кристаллографической ориентации (см. рис. 2 с). Как правило, такие структурные отражения не наблюдаются на рентгенограмме кремния с кристаллической решеткой, свободной от различных микроискажений. То есть их появление указывает на наличие микроискажений в кристаллическую решетку. Существует возможность количественного определения таких микроискажений, для чего используется отношение интенсивности структурного отражения (222)Si к интенсивности основного структурного отражения (111)Si, т.е. $I(222)/I(111)$. В нашем случае эти значения составляют: $3,8 \times 10^{-4}$ при 950°C, $5,4 \times 10^{-4}$ при 1050°C и $6,5 \times 10^{-4}$ при 1150°C. Эти значения превышают 10^{-4} , что характерно для кристаллических решеток с алмазоподобной структурой, в которых атомы равномерно распределены. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что с увеличением температуры термической обработки в кристаллической решетке кремния растут механические напряжения в локальных областях. Данный эффект обусловлен неравномерным распределением кислорода, поступающего в кристалл из фоновых примесей. С высокой вероятностью это связано с разницей ионных радиусов кремния и кислорода, а также с небольшими напряжениями, возникающими во время роста кристалла из-за градиента температуры. Из-за различия ионного радиуса кислородные атомы располагаются вблизи границ кристаллических решеток, на границах раздела кремниевых субкристаллитов, а также в смещенных узлах решетки. При этом они компенсируют ненасыщенные связи кремния. Это, в свою очередь, показывает, что в объеме кристалла преимущественно располагаются атомы кремния и данная структура обладает высокой симметрией, а атомы кислорода могут спонтанно формировать асимметричные кристаллиты на границах раздела субкристаллитов.

В подтверждение вышеуказанных рассуждений, на рентгенограммах p-Si при углах рассеяния $2\theta = 20,2^\circ$, $2\theta = 39,1^\circ$, $2\theta = 42,6^\circ$, $2\theta = 90,8^\circ$ и $2\theta = 91,9^\circ$ были обнаружены структурные отражения, относящиеся к фазе SiO₂, которые соответствуют кристаллографическим ориентациям (100), (102), (200), (400) и (401) (см. рис. 2 а и 2 с). Кроме того, анализ значений полной ширины на половине высоты (FWHM = $5,7 \times 10^{-3} \div 7,1 \times 10^{-3}$ рад) показывает, что в образце формируются кристаллиты размером 21–25 нм, содержащие атомы кремния и кислорода. Дополнительно, экспериментальные значения этих структурных отражений были переработаны и проанализированы, что позволило установить, что кристаллические параметры SiO₂ составляют: $a_{\text{ср}} = b_{\text{ср}} = 0,5031$ нм, и $c_{\text{ср}} = 0,5527$ нм. Эти кристаллиты принадлежат тригональной элементарной ячейке с пространственной группой P321. Также, на рентгенограмме p-Si при углах рассеяния $2\theta = 23,0^\circ \div 23,6^\circ$ было выявлено структурное отражение, относящееся к фазе В₂О₃. Оно

образуется за счет наличия фоновых примесей в кремнии и взаимодействия атомов кислорода и бора, что приводит к формированию кристаллографической ориентации (100), состоящей из двух компонентов. Анализ экспериментальных данных данного отражения показал, что кристаллиты B_2O_3 принадлежат тригональной элементарной ячейке с пространственной группой $R\bar{3}221$ и имеют параметры решетки: $a_{\text{exr}} = b_{\text{exr}} = 0,4415$ нм и $c_{\text{exr}} = 0,8812$ нм. Размер этих кристаллитов составил 55 нм.

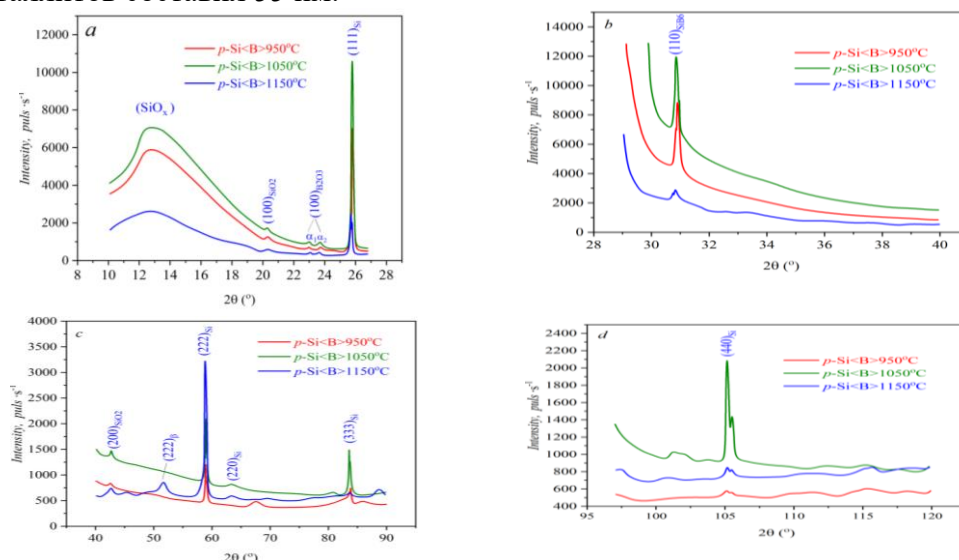


Рис.2. Изменение уровня неупругой фоновой рентгенограммы образца $p\text{-Si}<\text{B}>$ при малых, средних и больших углах рассеяния, а также формы наблюдаемых структурных отражений.

Кроме того, на рентгенограммах кремниевых контрольных образцов, подвергнутых термической обработке в течение 5 часов при температурах 950°C, 1050°C и 1150°C, в области малых углов рассеяния ($2\theta \approx 13^\circ$) наблюдаются диффузные отражения, относящиеся к фазе SiO_x (см. рис. 2 а). Анализ значений полной ширины на половине высоты (FWHM) показывает: $\text{FWHM}(950^\circ\text{C}) = 7,2 \times 10^{-2}$ рад, $\text{FWHM}(1050^\circ\text{C}) = 8,7 \times 10^{-2}$ рад и $\text{FWHM}(1150^\circ\text{C}) = 8,4 \times 10^{-2}$ рад. По этим значениям установлено, что данные структуры не являются кристаллитами, а представляют собой мелкие фрагменты, размер которых составляет: 2 нм при 950°C, 1,6 нм при 1050°C, 1,7 нм при 1150°C. Такие фрагменты в основном образуются в приповерхностных областях кремния и указывают на наличие ненасыщенных связей между атомами кремния. Кроме того, их малый размер свидетельствует об отсутствии дальнего порядка в расположении кремниевых и кислородных атомов. Поэтому такие образования не являются нанокристаллитами, а относятся к кластерам. Также, поскольку аналогичные кластеры частично формируются в различных областях кремниевых контрольных образцов при 950°C, 1050°C и 1150°C, на рентгенограммах в области малых, средних и больших углов рассеяния наблюдаются изменения неупругого фона рентгенограммы разного характера. Это, в свою очередь, свидетельствует о формировании дополнительных микродефектов в кристаллической решетке кремния.

На рентгенограммах кремниевых контрольных образцов, подвергнутых термической обработке в течение 5 часов при температурах 950°C, 1050°C и 1150°C, на угле рассеяния $2\theta = 30,8^\circ$ наблюдается структурное отражение, относящееся к фазе SiB_6 (гексаборид кремния) с кристаллографической ориентацией (110) (см. рис. 2 б). Эта фаза образована кубическими элементарными ячейками с параметрами решетки: $a_{\text{exr}} = 0,4156$ нм. Размер кристаллитов, соответствующих данной фазе, составляет: 75 нм при 950°C, 71 нм при 1050°C и 95 нм при 1150°C. Это, в свою очередь, указывает на следующие процессы: при 950°C происходит формирование и рост кристаллитов; при 1050°C наблюдаются реорганизация и фрагментация, что

приводит к временному уменьшению их размера; при 1150°C увеличивается подвижность атомов, и за счет интенсификации механизма Ostwald Ripening происходит укрупнение кристаллитов.

Закключение. На основе проведенных рентгеноструктурных исследований монокристаллических образцов p-Si сделаны следующие выводы:

установлено, что поверхность монокристаллических образцов p-Si соответствует кристаллографической ориентации (111). В результате термической обработки при 950°C, 1050°C и 1150°C происходит перераспределение атомов и дефектов, что приводит к увеличению параметра решетки: $a_{Si,(950^\circ C)} = 0,534$ нм $a_{Si,(1050^\circ C)} = 0,535$ нм и $a_{Si,(1150^\circ C)} = 0,536$ нм. При этом кристаллическое совершенство увеличивается при 1050°C и уменьшается при 1150°C.

в результате термической обработки при 950°C, 1050°C и 1150°C в поверхностных областях образцов формируются микронапряжения (дислокации и другие дефекты), а в объеме образцов происходит их стабилизация.

установлено, что при 950°C из-за относительно низкой температуры диффузии субкристаллиты (59,7 нм) практически не изменяются, при 1050°C протекает процесс перекристаллизации, что приводит к их увеличению до 61,1 нм и при 1150°C из-за разрушения и повторного формирования субкристаллитов их размер уменьшается до 57,4 нм;

в результате взаимодействия атомов кремния, бора и кислорода образуются кристаллиты SiO₂ и B₂O₃, относящиеся к тригональной элементарной ячейке с пространственной группой P3221, SiO₂: $a_{exp} = b_{exp} = 0,5031$ нм и $c_{exp} = 0,5527$ нм, размер кристаллитов 21–25 нм; B₂O₃: $a_{exp} = b_{exp} = 0,4415$ нм, $c_{exp} = 0,8812$ нм, размер кристаллитов 55 нм.

в поверхностных областях монокристаллических образцов p-Si после термической обработки при 950°C, 1050°C и 1150°C формируются кластеры размером 2 нм, 1,6 нм и 1,7 нм. Эти кластеры образуются за счет ненасыщенных связей кремния и кислорода (SiO_x) и приводят к образованию дополнительных микродефектов в кристаллической решетке.

в результате термической обработки при 950°C, 1050°C и 1150°C на поверхности образцов p-Si формируются нанокристаллиты размером 75 нм, 71 нм и 95 нм, состоящие из кубических элементарных ячеек с параметрами решетки $a_{exp} = 0,4156$ нм.

Список использованной литературы

1. CHEN Jia-he, et al Monocrystalline silicon used for integrated circuits: still on the way// Front. Mater. Sci. China, 2008. 2(4) 335–344. <https://doi.org/10.1007/s11706-008-0062-0>
2. Yu X., Yang D., Ma X., et al Grown-in defects in nitrogendoped Czochralski silicon// Journal of Applied Physics, 2002. 92(1), 188–194.
3. Huang X., Taishi T., Yonenaga I., et al Dislocation-free Czochralski Si crystal growth without dash necking using a heavily B and Ge codoped Si seed// Japanese Journal of Applied Physics, 2000. 39 115–119.
4. Boboev A.Y., Photoelectric characteristics of the heterojunction n-GaAs-p-(GaAs)1-x-y(Ge2)x(ZnSe)y// East European Journal of Physics. 2024. 3, 298-302 <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-3-31>
5. Воляр Р. Н. Влияние примесей и условий выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского на величину времени жизни неравновесных носителей заряда // ТАПИ. 2015. №4 (21).
6. Sh.B. Utamuradova, Kh.J. Matchonov, J.J. Khamdamov, and Kh.Y. Utemuratova, X-ray diffraction study of the phase state of silicon single crystals doped with manganese// New Materials, Compounds and Applications, 2023 7(2), 93-99.
7. Li M., Liu Y., Zhang Y., et al Effect of the Annealing Atmosphere on Crystal Phase and Thermoelectric Properties of Copper Sulfide// ACS Nano, 2021. 15(3), 4967-4978. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c09866>
8. Igamov B.D., Kamardin A.I., Nabiev D.Kh., Bekpulatov I.R., Study of the physical nature of Mn4Si7 crystals formed by the diffusion method using an X-ray diffraction// Journal of Crystal Growth 2025. 64(9), 27-32.

9. Сафаров А. С., Абдуллаев Б. А., Шукурова Д. М. Взаимодействие кислорода с поверхностью кремния // ЭОМ. 2004. №1.

10. Якименко А. А., Червоный И. Ф. Об образовании стратовой неоднородности в монокристаллах кремния // ВЕЖПТ. 2014. №5 (71).

S VA Rh ATOMLARI BILAN LEGIRLANGAN KREMNIY ASOSIDAGI p^+-i-p^+ HAMDA p^+-i-n^+ TUZILMALARNING ELEKTROFIZIK VA FOTOELEKTRIK XOSSALARI

Boboyev Akramjon

Andijon davlat universiteti, DSc, dotsent

aboboevscp@gmail.com

ORCID 0000-0002-3963-708X

Mahmudov Sherzod

O'z RFA Yadro fizika instituti, k.i.x.

maxmudovsher@gmail.com

ORCID 0009-0003-6539-9278,

Normurodov Dilshod

Qarshi davlat universiteti, dotsent

normurodovdilshod2110@gmail.com

ORCID 0009-0000-7454-5917

Ibrohimov Ziyodjon

Andijon davlat universiteti, o'qituvchi

ibrohimov_96@list.ru

ORCID 0009-003-6931-661X

Ibrohimov Sarvarbek

Andijon davlat universiteti, talaba

ibrohimovsarvar1602@gmail.com

ORCID 0009-0004-6907-8129

Annotatsiya. Maqolada Si<B,S> va Si<B,Rh> tuzilmalarining fotosezgirlik xossalari turli nurlanishlar ta'siri bo'yicha o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalarining tahlillari keltirilgan. Si<B,S> va Si<B,Rh> asosida tayyorlangan fotodiodlarning sezuvchanligi harorat pasaytirilganda (300 K dan 77 K gacha) bir necha barobarga (0,35 dan 2,6 A·W⁻¹ gacha) ortishi aniqlandi. Si<B,S> asosidagi fotoqabullagichlarning ostona sezuvchanligi Si<B,Rh> asosidagilarga nisbatan sezilarli darajada yuqori ($\Phi_n \approx 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ Im} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$) ekanligi aniqlandi. Kremniyda oltingugurt (S) yoki rodiiy (Rh) elementlari konsentratsiyasining oshishi fotosezuvchanlikni oshirishi, biroq bu konsentratsiya me'yordan oshib ketganda ($\text{NRh} > 2,6 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$) aksincha, sezuvchanlikning 3÷4 marta pasayishiga olib kelishi aniqlandi. Si<B,S> va Si<B,Rh> asosida shakllangan fotoqabullagichlarning yuqori darajadagi radiatsiya sharoitida (protonlar, neytronlar, elektronlar va γ -kvantlar ta'sirida) sezuvchanlik parametrlarini saqlab qolishi aniqlandi. $p^+-n-p-n^+$ asosidagi diodlarda kuzatiladigan S-simon VAX va sirilish kuchlanishining ($U_{cp} = 0,5 \div 10 \text{ V}$) harorat oshishi bilan yo'qolishi aniqlandi. Si<B,S> va Si<B,Rh> diodlarida fotoo'tkazuvchanlik relaksatsiyasi zaryad tashuvchilarning yashash vaqti uzayishi bilan bog'liq ekanligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: oltingugurt, rodiiy, fotoo'tkazuvchanlik, nurlanish, monoxromatik sezgirlik, relaksatsiya.

ELECTROPHYSICAL AND PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF SILICON-BASED p^+-i-p^+ AND p^+-i-n^+ STRUCTURES ALLOYED WITH S AND RH ATOMS

Abstract. The paper analyses the results of experimental studies carried out to investigate the photosensitive properties of Si<B,S> and Si<B,Rh> structures under the influence of various types of radiation. It was found that the sensitivity of photodiodes fabricated on the basis of Si<B,S> and Si<B,Rh>, increases several times (from 0.35 to 2.6 A·W⁻¹) at decreasing temperature (from 300 K to 77 K). The threshold sensitivity of Si<B,S> based photodetectors was found to be significantly higher compared to Si<B,Rh> based photodetectors ($\Phi_n \approx 1.2 \cdot 10^{-11} \text{ Im} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$). Increasing the concentration of sulphur (S) or rhodium (Rh) in silicon increases the photosensitivity, but the sensitivity decreases 3-4 times when the permissible concentration is exceeded ($\text{NRh} > 2.6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$). It was found that photodetectors based on Si<B,S> and Si<B,Rh> retain their sensitivity parameters at high levels of radiation exposure (under the

action of protons, neutrons, electrons, and γ -quanta). In diodes based on $p^+-n-p-n^+$, an S-shaped Volt-ampere characteristic is observed, as well as the disappearance of the gating voltage ($U_{cp} = 0.5 \div 10$ V) with increasing temperature. Relaxation of photoconductivity in diodes based on Si<B,S> and Si<B,Rh> is due to the increase in the lifetime of charge carriers.

Keywords: sulfur, rhodium, photoconductivity, radiation, monochromatic sensitivity, relaxation.

Kirish. Kremniyni legirlash orqali uning fotoelektr xossalarini yaxshilash zamonaviy fotoqabullagich, fotodiod va radiatsiya sensorlari kabi elektron qurilmalarni yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi. Kremniyning tuzilmasini maqsadli o'zgartirish, ya'ni uni turli donor va akseptor elementlar bilan legirlash, uning tashuvchilar zichligi, ruxsat etilgan energetik holatlari va optik sezgirligini nazorat qilish imkonini beradi. Bu esa kremniy asosida ishlab chiqariladigan qurilmalarning sezuvchanligi, ishonchliligi va barqarorligini keskin oshiradi.

Xususan, oltingugurt (S) yoki rodiiy (Rh) kabi elementlar bilan legirlash natijasida kremniyning yuza qismida p^+ - qatlam shakllanadi [1]. Bu qatlam doimiy zichlikdagi kovakli tok tashuvchilar manbasi bo'lib, yorug'lik ta'sirida yuzada fotoelektron jarayonlarni samarali boshqarishga imkon beradi [2]. Natijada, bunday strukturalar asosida p^+-i-p^+ yoki p^+-i-n^+ turidagi simmetrik va asimmetrik fotoqabullagichlar yaratish mumkin bo'ladi.

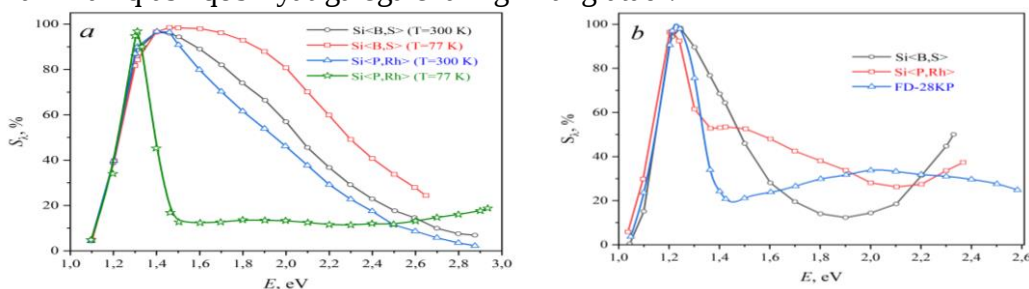
Bunday tuzilmalar nafaqat oddiy fotoqabullagichlar, balki radiatsiyaga chidamli sensorlar, infraqizil detektorlar, nonurun kameralar, astronomik priborlar va boshqa yuqori aniqlikdagi qurilmalarda keng qo'llaniladi [3]. Ayniqsa, i -qatlamining mavjudligi materialning kam legirlangan, deyarli oraliq holda ekanligini ko'rsatadi, bu esa fotoelektrik effektini aniq va yuqori samarada ro'y berishini ta'minlaydi [4].

Shuningdek, kremniyni fosfor (P) bilan donor sifatida legirlash orqali n^+ -qatlam hosil qilinib, p^+-i-n^+ strukturalar shakllantiriladi hamda bu kabi tuzilmalarda ichki elektr maydonining mavjudligi, fotoelektronlarni tez va samarali ajratishga yordam beradi [5]. Natijada, umumiy sezuvchanlik va tezkorlik yuqorilashadi. Yuqorida ta'riflangan jarayonlar va strukturalar asosida yaratilgan fotoqabullagichlar turli harorat va nurlanish sharoitida o'z xossalarini saqlab qoladi [6]. Shuning uchun ham bunday tuzilmalar radiatsiya muhitida, jumladan, yadro energetikasi, kosmik ilmiy tadqiqotlar va harbiy-sanoat sohalarida qo'llash uchun ayni muddao hisoblanadi. Shu munosabat bilan, ushbu maqolada Si<B,S> va Si<B,Rh> tuzilmalarining fotosezgirlik xossalariga turli nurlanishlarning ta'siri bo'yicha o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalari hamda ularning muhokamasi keltirilgan.

Materiallar va tadqiqot usullari. p^+-i-n^+ strukturani hosil qilish jarayonida kremniy asosiy material sifatida xizmat qiladi. Bu jarayonda p -turli, ya'ni bor (B) bilan legirlangan kremniy plastinka ishlatiladi, uning o'rtacha xos qarshiligi $\rho \approx 2 \div 10$ Om·sm ni tashkil etadi. Tuzilmalarning asimmetrik tabiati va yuqori samaradorligiga erishish maqsadida kremniyning ikki qarama-qarshi yuzasiga turli legirlovchi moddalar surtiladi. Xususan, plastinkaning bir tomoniga akseptor xususiyatga ega bo'lgan oltingugurt (S) yoki rodiiy (Rh) eritmasi qo'llaniladi. Bu moddalar kremniyda kovakli tok tashuvchilar zichligini oshirib, yuqori darajada legirlangan p^+ -qatlam hosil qilishga xizmat qiladi. Ikkinchi tomonga esa donor xususiyatga ega bo'lgan fosfor (P) eritmasi yuritiladi, bu esa n^+ -qatlamni shakllantiradi. Shu tariqa, tuzilmaning yuqori qismida p^+ -qatlam, pastki qismida esa n^+ -qatlam va markazda oraliq (kam legirlangan) i -qavat vujudga keladi. So'ngra kremniy plastinkalar surtilgan yuzlari bir-biriga qaratilib, o'zaro ancha yuqori bosimda (kontaktli) joylashtiriladi. Bu usul legirlovchi moddalarning bir tekis tarqalishi va kremniy tuzilmasiga samarali kirib borishini ta'minlaydi. Shu holatdagi tayyor plastinkalar 1250–1300°C haroratda, atmosferada yoki inert muhitda (massalan, azot, argon) ochiq diffuziya sharoitida termik ishlov beriladi. Bu jarayon davomida legirlovchi moddalar kremniy kristal panjarasiga kirib, profil bo'yicha chuqurligi nazorat qilingan p^+-i-n^+ tuzilma hosil bo'ladi. Ushbu texnologiyaning afzalligi shundaki, u orqali strukturaning har

bir qismida aniq energiya baryerlari va tashuvchi zichligi yaratiladi, bu esa fotoqabullagichning yuqori sezuvchanligi, kam shovqinli ishlashi va barqaror elektr xossalriga erishish imkonini beradi. Bunday tuzilmalar o'zining tezkorlik (τ), spektral diapazon, fototok/qorong'ulik tok nisbati va radiatsiya barqarorligi bilan ajralib turadi.

Natijalar va ularning muhokamasi. Fotoelektr xarakteristikalar. p^+-i-p^+ va p^+-i-n^+ tuzilmalari asosida tayyorlangan fotoqabullagichlarning spektral xossalari sanoatda keng qo'llaniladigan FD-28KP fotodiodi bilan taqqoslangan. Taqqoslash natijalari asosida turli tuzilmalarning spektral sezuvchanligi va ishchi holati aniq baholandi. Ushbu tuzilmalarning spektral xarakteristikalari 1-a va b rasmlarda, mos parametrlari esa 1-jadvalda keltirilgan. Tahlillardan ma'lum bo'lishicha, harorat 77 K gacha pasaytirilganda, fotoqabullagichlarning sezuvchanligi ancha oshgani kuzatilgan. Xususan: Si<B,S> asosidagi tuzilma uchun: $\lambda = 0,625$ mkm bo'yicha $S_\lambda \approx 0,35 \text{ A} \cdot \text{W}^{-1}$ (300 K) $\div 2,6 \text{ A} \cdot \text{W}^{-1}$ (77 K); Si<B,Rh> asosidagi tuzilma uchun: $\lambda = 0,625$ mkm bo'yicha $S_\lambda \approx 0,28 \text{ A} \cdot \text{Vt}^{-1}$ (300 K) $\div 0,74 \text{ A} \cdot \text{W}^{-1}$ (77 K). Bu ko'rsatkichlar past harorat sharoitida fotoyorug'likka bo'lgan sezuvchanlikning bir necha barobar oshishini tasdiqlaydi. Bu, o'z navbatida, bunday tuzilmalarni kriogenik sensorlar, nochiroq nurlanish muhitlarida ishlovchi detektorlar uchun juda mos ekanligini ko'rsatadi [7]. Shuningdek, fotoqabullagichlarning ostona sezuvchanligi (Φ_n) ham aniqlangan. Yuklama qarshiligi $R_H = 50 \text{ kOm}$ bo'lgan holda: Si<B,S> tuzilmasi uchun: $\Phi_n \approx 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ lm} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$; Si<B,Rh> tuzilmasi uchun: $\Phi_n \approx 4,0 \cdot 10^{-10} \text{ lm} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$. Φ_n qiymatining past bo'lishi, qurilmaning juda kichik yorug'lik signallarini aniqlash qobiliyatiga ega ekanligini anglatadi.



1-rasm. Si<B,S> va Si<B,Rh> asosidagi p^+-i-p (a) hamda p^+-i-n^+ (b) tuzilmalar, shuningdek, FD-28KP yorug'lik diodining spektral xarakteristikalari.

Shu bilan birga, Si<B,S> strukturalari Si<B,Rh> ga nisbatan yuqoriroq sezuvchanlik va pastroq ostona sezuvchanlik bilan ajralib turibdi, bu esa uni yuqori aniqlik talab etuvchi fotoelektrik qurilmalarda qo'llash uchun samarali ekanligini tasdiqlaydi [8].

1-jadval.

Si<B,S> va Si<B,Rh> asosidagi fotosezuvchuvsan tuzilmalar parametrlari

N _o	Parametr	Si<B,S>	Si<B,Rh>
1	Shovqin kuchlanishi (U_{sh}), mkV	2÷10	2÷10
2	Monoxromatik sezuvchanlik (S_λ) $\lambda=0,85$ mkm, A/W	0,50÷0,75	0,50÷0,75
3	Integral tok sezuvchanlik (S_i), mA/lm	40÷50	40÷50
4	Vaqt doimiysi (τ), s	$(2\div50) \cdot 10^{-4}$	$(2\div50) \cdot 10^{-4}$

Legirlovchi moddalar konsentratsiyasining ta'siri. p -tipdagi kremniyda legirlovchi moddalar sifatida oltingugurt (S) yoki rodii (Rh) elementlari qo'llanilganda, ularning konsentratsiyasi oshishi bilan fotosezuvchanlikning oshishi kuzatiladi. Bu holat legirlovchi moddalarning kremniy tuzilmasida yorug'lik ta'sirida tashuvchi zichligini oshirishi va rekombinatsiya jarayonlarini susaytirishi bilan izohlanadi [9]. Biroq, legirlovchi moddaning konsentratsiyasi meyordan ortib ketgan holda, ya'ni material o'ta-kompensatsiyalangan holatga o'tsa, bunda donor va akseptor markazlarining o'zaro kompensatsiyasi ortib, erkin tashuvchilar soni keskin kamayadi [10]. Bu esa o'z navbatida fotoqabullagichning sezuvchanlik darajasini 3÷4 martagacha pasayishiga olib keladi [11]. Bunday holatda yuzaga keladigan to'siq maydonlari va defektlar soni ortishi ham fototokning kamayishiga sabab bo'ladi. Ushbu ta'sirni empirik ravishda baholash

maqsadida 2-jadvalda turli Rh konsentratsiyalaridagi Si<B,Rh> asosidagi tuzilmalarning fototok va qorong'ulik tok xossalari keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, Rh konsentratsiyasi ma'lum optimum qiymatdan oshib ketganda, fototokning pasayishi va I_F/I_Q nisbatining keskin o'zgarishi qayd etilgan. Bunda Rh konsentratsiyasi $N_{Rh} \approx 2,6 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ gacha oshirilganda, 77 K haroratda I_F/I_Q nisbati 10^7 gacha ko'tarilgan, bu esa yuqori sezuvchanlikni bildiradi. Biroq ushbu qiymatdan ortiq konsentratsiyalarda zichlikning oshishi emas, aksincha sezuvchanlikning pasayishiga olib kelishi mumkin [12].

2-jadval.

 Rh konsentratsiyasi ta'siridagi fototoklar

N_{Rh}, sm^{-3}	300 K			77 K		
	I_T, A	I_Φ, A	I_Φ/I_T	I_T, A	I_Φ, A	I_Φ/I_T
$7 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	9,1	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	35
$1,5 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	9,5	-	-	$1,6 \cdot 10^6$
$2,6 \cdot 10^{15}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	11	$1 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^7$

Radiatsiya ta'siri. Radiatsiyaning Si<B,Rh> va Si<B,S> asosida shakllangan tuzilmalarning sezuvchanlik parametrlari (S_λ va S_I) ga ta'siri 3- va 4-jadvallarda keltirilgan. Ushbu jadvallarda protonlar, neytronlar, elektronlar va γ -kvantlar kabi turli xil nurlanish turlari ta'sirida tuzilmalarning tok sezuvchanligidagi o'zgarishlar tahlil qilingan. Tajribaviy natijalarga ko'ra, Si<B,Rh> asosidagi tuzilmalar ko'p holatlarda Si<B,S> tuzilmalariga nisbatan kattaroq sezuvchanlik o'sishini ko'rsatgan. Shu bilan birga, Si<B,Rh> va Si<B,S> strukturalari γ -nurlarining $\sim 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ flyuyensida ham o'zlarining yuqori darajadagi sezuvchanligini saqlab qolganligi qayd etilgan.

3-jadval.

Radiatsiya turi va oqimlar ta'sirida tok sezuvchanlikdagi o'zgarishlar

№	Nurlanish turi	Integral oqim (sm^{-2})	ΔS_I (%) Si<B,S>
1	Protonlar ($E=18 \text{ MeV}$)	$5 \cdot 10^{12}/1 \cdot 10^{13}/5 \cdot 10^{13}$	20/50/92
2	Neytronlar ($E \geq 0,1 \text{ MeV}$)	$3 \cdot 10^{13}/5 \cdot 10^{13}/8 \cdot 10^{13}$	12/42/55
3	Elektronlar ($E=6 \text{ MeV}$)	$10^{14}/10^{15}/10^{16}$	7/44/87
4	γ -kvantlar (^{60}Co)	$1,1 \cdot 10^{18}/2,5 \cdot 10^{18}/3,5 \cdot 10^{18}$	7/38/70

4-jadval jadvalda esa Si<B,S> va Si<B,Rh> asosida shakllangan tuzilmalarning monoxromatik sezuvchanligi (S_λ), integral tok sezuvchanligi (S_I) hamda vaqt doimiysi (τ) kabi asosiy parametrlarining nurlanishgacha va nurlanishdan keyingi holatlari solishtirilgan. Ta'kidlash lozimki, nurlanish ta'siri natijasida har ikki tuzilmaning ham sezuvchanlik ko'rsatkichlari biroz kamaygan bo'lsa-da, ularning qiymatlari hali ham sanoat standartlariga nisbatan yuqori darajada qolmoqda. Bu esa Si<B,S> va Si<B,Rh> asosidagi sensorlarning radiatsiya ta'siri ostida ishonchliligi va barqarorligidan dalolat beradi. Shunday qilib, mazkur tuzilmalar yuqori radiatsiya muhitida uzoq vaqt ishlash qobiliyatini saqlab qolishi bilan kelgusidagi amaliy qo'llanish uchun muhim afzalliklarga ega ekanligini tasdiqlaydi [13].

4-jadval

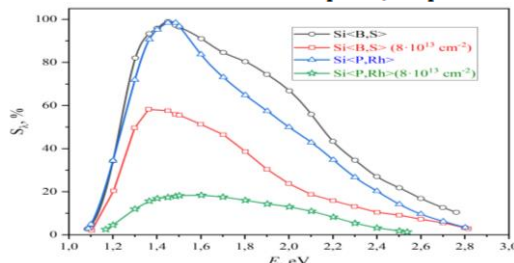
Si<B,S> va Si<B,Rh> asosidagi strukturalarning nurlanishdan oldin va keyingi parametrlari

Parametr	Si<B,S> Oldin	Si<B,S> Keyin	Si<B,Rh> Oldin	Si<B,Rh> Keyin
Monoxromatik sezuvchanlik (S_λ), A/W	0,70	0,40	0,78	0,26
Integral tok sezuvchanlik (S_I), mA/lm	49,4	21	55	13,29
Vaqt doimiysi (τ), s	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$

2-rasmda nurlanishdan oldin va keyingi spektral xossalari taqqoslangan bo'lib, natijalar shuni ko'rsatadiki, maxsus elementlar (masalan, bor va oltingugurt) bilan legirlangan kremniy (n -Si<B,S>) asosida tayyorlangan fotoqabullagichlar spektral sezuvchanlikning o'zgarishi nuqtayi nazaridan ancha yuqori radiatsion barqarorlikka ega. Bunday materiallar asosida yaratilgan tuzilmalar, tez neytronlar ta'sirida standart sanoat

kremniy fotodiodlariga nisbatan 3÷4 baravar yuqori chidamlilik namoyish etadi.

Bu xulosa tez neytronlar flyuyensining ($E \geq 0,1$ MeV) fotoqabullagichlarning integral tok sezuvchanligiga ta'sirini ko'rsatuvchi 5-jadval natijalari bilan ham tasdiqlanadi. Jadvalda n-Si<B,S> asosidagi fotoqabullagichlar hamda n-Si<P> (sanoat fotodiodi FD-10K) asosida tayyorlangan fotoqabullagichlarning nurlanishdan keyingi integral tok sezuvchanligining nisbiy o'zgarishi $[S_I^{nur} / S_I^0] \cdot 100\%$ keltirilgan.



2-rasm. Si<B,S> va Si<B,Rh> tuzilmalarning nurlantirilmagan va $8 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-2}$ flyuens tez neytronlarda nurlanishdan keyingi spektral xarakteristikalar.

Jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, n-Si<B,S> asosidagi fotoqabullagichlarning integral sezuvchanligi yuqori neytron dozalarida ham nisbatan barqarorligicha qolmoqda. Shu bilan birga, FD-10K tipdagi sanoat fotodiodi tez neytronlar ta'sirida deyarli o'zining dastlabki sezuvchanligini saqlab qoladi, bu esa sanoat fotodiodining yuqori radiatsiyaga chidamliligidan dalolat beradi. Shunday qilib, yuqori radiatsion barqarorlik talab qilinadigan sharoitlarda n-Si<B,S> asosidagi fotoqabullagichlar ham, shuningdek, sanoat tipdagi FD-10K fotodiodlari ham kelajakdagi amaliyot uchun istiqbolidir [14].

5-jadval.

Tezkor neytronlar ta'sirida integral sezuvchanlikning nisbiy o'zgarishi

Flyuyens (sm^{-2})	Si<B,S> (%)	FD-10K (%)
$2 \cdot 10^{13}$	10	80
$4 \cdot 10^{13}$	17	83
$6 \cdot 10^{13}$	26	86
10^{14}	31	88

S-diodlar va ularning VAX xossalari. S-simon VAX ko'rsatuvchi diodlar p^+n-p-n^+ tuzilmasi asosida tayyorlangan. Bunday diodlarda to'satdan "sirilish kuchlanishi" (U_{sr}) kuzatiladi. Temperatura oshishi bilan sirilish uchastkasi yo'qoladi, bu esa diodni fotorele sifatida qo'llash imkonini beradi. Hisobotlarga ko'ra, $U_{sr} = 0,5 \div 10$ V, $I_{sr} = 0,2 \div 1$ mA oralig'ida bo'ladi. 6-jadvalda $U_{sr}^{max} / U_{sr}^{min}$ nisbati va kompensatsiya darajasi (K) ni turli ρ qiymatlari bo'yicha taqqoslangan.

Diodlar va ularning volt-ampere xarakteristikalar (VAX).

p^+n-p-n^+ tipdagi yarim o'tkazgich strukturalar asosida tayyorlangan ayrim turdagi diodlarda noodatiy S-simon shakldagi VAX kuzatiladi. Bu kabi diodlarning VAXida ma'lum bir kritik kuchlanish (sirilish kuchlanishi, U_{sr}) mavjud bo'lib, diodning ishlash rejimi to'satdan o'zgaradi. Sirilish kuchlanishi U_{sr} odatda $0,5 \div 10$ V, shu nuqtadagi tok (I_{sr}) esa $0,2 \div 1$ mA oralig'ida o'zgaradi [15]. Qiziq tomoni shundaki, bunday diodlarda kuzatiladigan S-simon VAX va sirilish uchastkasining mavjudligi harorat ortishi bilan yo'qolib, VAX nisbatan silliq shaklga keladi [16]. Shuning uchun ham, haroratga bog'liq ravishda ishlash rejimining o'zgarishi, bunday diodlarni turli fotorele va harorat sensori sifatida qo'llash imkoniyatini ochadi [17].

Sirilish kuchlanishining kattaligi diodlarning ichki parametrlariga, ya'ni bazaning xos qarshiligi (ρ) hamda kompensatsiya darajasiga (K) bevosita bog'liqdir [18]. Bu bog'liqlik 6-jadvalda aks ettirilgan bo'lib, unda turli ρ qiymatlarida va kompensatsiya darajasida (K) kuzatiladigan maksimal va minimal sirilish kuchlanishi oralig'ining nisbati ($U_{sr}^{max} / U_{sr}^{min}$) taqqoslab berilgan. Jadval ma'lumotlaridan ko'rinadiki, kompensatsiya darajasi ortishi bilan sirilish kuchlanishi intervalining kengayishi kuzatiladi. Bu esa

diodlarning ish rejimini aniq boshqarish va moslashtirish imkoniyatini beradi. Demak, $p^+ - n - p - n^+$ tipdagi strukturalarda kompensatsiya darajasini optimal tanlash orqali sirilish kuchlanishini istalgan darajada moslashtirish mumkin, bu esa amaliyotda keng imkoniyatlar yaratadi [19].

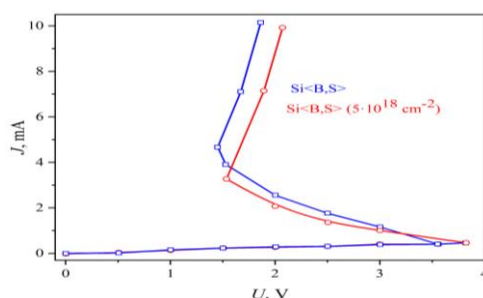
6-jadval.

ρ va kompensatsiya darajasiga bog'liq ravishda $U_{sr}^{max}/U_{sr}^{min}$ nisbati

$\rho, \text{Om}\cdot\text{sm}$	$U_{sr}^{max}/U_{sr}^{min}$	$K = \bar{P}/N_S$
1	-	0,51
3	1,5	0,78
10	3,5	0,91
20	5	0,95

γ -nurlanish ta'siri va relaksatsiya

Si<B,S> asosida tayyorlangan S-diodlar radiatsiya ta'sirida yuqori barqarorlik xususiyatlariga ega ekanligi kuzatildi. ^{60}Co gamma-nurlari bilan nurlanish natijasida mazkur diodlardagi sirilish kuchlanishi (U_{sr}) va sirilish toki (I_{sr}) qiymatlari amalda o'zgarmaganligi tajriba orqali aniqlandi (3-rasmga qarang). Bu esa mazkur materiallarning yuqori radiatsion barqarorligini to'liq tasdiqlaydi. Shuningdek, Si<B,S> va Si<B,Rh> asosidagi diodlarda fotoo'tkazuvchanlik relaksatsiya jarayonlari ham o'rganildi. Ushbu natijalar oldingi tadqiqotlarda keltirilgan ma'lumotlar bilan solishtirilganda, fotoprovodlik relaksatsiyasi zaryad tashuvchilarning yashash vaqtlari ortishi bilan bog'liqligi tasdiqlandi [20]. Zaryad tashuvchilarning uzoq yashash muddati fotosezuvchanlikning barqarorligini oshirib, fotoqabullagichlarning uzoq muddatli ekspluatatsiyasi uchun qo'shimcha afzallik yaratadi [21]. Yuqoridagi natijalardan kelib chiqqan holda, Si<B,S> va Si<B,Rh> asosidagi S-diodlarni yuqori radiatsiya dozasi mavjud bo'lgan muhitlarda ishonchli va uzoq muddatli barqaror fotosezuvchan qurilmalar sifatida qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi [22].



3-rasm. Si<B,S> asosida tayyorlangan S-diodlarning nurlanishdan oldingi va keyingi (gamma nurlanish) voltamper xarakteristikalari.

Xulosa. Shunday qilib, Si<B,S> va Si<B,Rh> tuzilmalarining fotosezgirlik xossalriga turli nurlanishlar ta'siri bo'yicha o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalarining tahlillari asosida quyidagi xulosalar olindi:

Si<B,S> va Si<B,Rh> asosida tayyorlangan fotodiodlarning sezuvchanligi harorat pasaytirilganda (300 K dan 77 K gacha) bir necha barobarga ($0,35$ dan $2,6 \text{ A}\cdot\text{Vt}^{-1}$ gacha) ortishi aniqlandi. Bu esa ularni kriogenik sensorlar hamda past intensivlikdagi nurlanishni qayd qiluvchi detektorlar sifatida qo'llash imkoniyatini beradi;

Si<B,S> asosidagi fotoqabullagichlarning ostona sezuvchanligi Si<B,Rh> asosidagilarga nisbatan sezilarli darajada yuqori ($\Phi_n \approx 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ lm}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$) ekanligi aniqlandi. Bu esa ularning o'ta kichik yorug'lik signallarini yuqori aniqlik bilan aniqlash qobiliyatini ta'minlaydi;

kremniyda oltingugurt (S) yoki rodiiy (Rh) elementlari konsentratsiyasining oshishi fotosezuvchanlikning oshirishi, biroq bu konsentratsiya me'yordan oshib ketganda ($N_{Rh} > 2,6 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$) aksincha, sezuvchanlikning 3–4 marta pasayishiga olib kelishi aniqlandi;

Si<B,S> va Si<B,Rh> asosida shakllangan fotoqabullagichlarning yuqori darajadagi radiatsiya sharoitida (protonlar, neytronlar, elektronlar va γ -kvantlar ta'sirida)

sezuvchanlik parametrlarini saqlab qolishi aniqlandi;

$p^+-n-p-n^+$ asosidagi diodlarda kuzatiladigan S-simon VAX va sirilish kuchlanishining ($U_{sr} = 0,5 \div 10$ V) harorat oshishi bilan yo'qolishi aniqlandi. Bu esa ushbu diodlarni yuqori sezgirlikka ega bo'lgan fotorele va harorat sensori sifatida amaliyotda qo'llash imkonini beradi;

Si<B,S> va Si<B,Rh> diodlarida fotoo'tkazuvchanlik relaksatsiyasi zaryad tashuvchilarning yashash vaqti uzayishi bilan bog'liq ekanligi aniqlandi. Bu esa fotoqabullagichlarning uzoq muddatli barqarorligini oshirib, ularni yuqori radiatsiya dozalari mavjud bo'lgan muhitlarda ishonchli va samarali qo'llash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Астров Е.А., Козлов В.А., Лодыгин А.Н., Порцель Л.М., Шуман В.Б., Гуревич Э.Л., Хергенро Р. Кремний с повышенным содержанием монокристаллических центров: изготовление образцов и оптическая спектроскопия, физика и техника полупроводников, 2009, Вол. 43, Но. 6, pp. 739–744.
2. Титова С. С., Осминкина Л. А., Какулия И. С., Чуенкова О. А., Паринаева Э. В., Рябцев С. В., Чумаков Р. Г., Лебедев А. М., Кудрявцев А. А., Туришчев С. И., Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия гибридных 3ТЗ НИХ клеточных структур с интернализированными пористыми кремниевыми наночастицами на подложках из различных материалов, конденсированные среды и межфазные границы 2023;25(1): 132–138
3. Zainabidinov S.Z., Boboev A.Y., Yunusaliyev N.Y., Yulchiev Sh.Kh., Gulomov B.D. Structural properties of Al-doped ZnO films, Eur. J. Phys. 3, 282 (2024)
4. Lozovoy K.A. Rahaf MH Douhan. et al. Silicon-Based Avalanche Photodiodes: Advancements and Applications in Medical Imaging, Nanomaterials 2023, 13, 3078. <https://doi.org/10.3390/nano13233078>
5. Dalla G.-F., Ye J. Silicon Radiation Detector Technologies: From Planar to 3D. Chips 2023, 2, 83–101. <https://doi.org/10.3390/chips2020006>
6. Zainabidinov S.Z., Boboev A.Y., Rasulova M.B., Yunusaliyev N.Y., “X-ray diffraction analysis, optical characteristics, and electro-physical properties of the n-ZnO/p-NiO structure grown by the spray pyrolysis method.” New Materials, Compounds and Applications, 8(3) 241-245 (2024)
7. Jin X. Qiang Vu. et al. High-performance black silicon photodetectors operating over a wide temperature range, Optical Materials 2021, 113, 110874. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.110874>
8. Yu. Musienko, A. Heering a et al. Radiation damage studies of silicon photomultipliers for the CMS HCAL phase I upgrade, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section 2015, 787, 319-322. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.01.012>
9. Howell S.W. Ruiz I. et al. Graphene-Insulator-Semiconductor Junction for Hybrid Photodetection Modalities Scientific REPORTS (2017). 7, 14651 <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14934-4>
10. Wei Y. Lan Ch. et al. Recent Advances in Photodetectors Based on Two-Dimensional Material/Si Heterojunctions Applied Science. 2023, 13, 11037. <https://doi.org/10.3390/app131911037>
11. Tailor N.K. Aranda C.A. et al. Negative Photoconductivity: Bizarre Physics in Semiconductors, ACS Materials Letters, 2022. 4, 11, 2298–2320. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.2c00675>
12. Goushcha A.O. Tabber B. et al. Silicon photoresistive sensors with improved performance Journal of Applied Physics, (2018) 123, 044505. <https://doi.org/10.1063/1.5006819>
13. Zainabidinov S.Z., Boboev A.Y., Yunusaliyev N.Y., “Effect of γ -irradiation on structure and electrophysical properties of S-doped ZnO films,” East Eur. J. Phys. 2, 321 (2024)
14. Zaynabidinov S.Z., Yuldashev Sh.U., Boboev A.Y., Yunusaliyev N.Y., “X-ray diffraction and electron microscopic studies of the ZnO(S) metal oxide films obtained by the ultrasonic spray pyrolysis method,” Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences, 1(112) 78-92 (2024)
15. P.A. Ivanov, A.S. Potapov, T.P. Samsonova, I.V. Grekhov, Current–Voltage Characteristics of High-Voltage 4H-SiC $p^+-n^0-n^+$ Diodes in the Avalanche Breakdown Mode Published in Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov, 2017, Vol. 51, No. 3, pp. 390–394 <https://doi.org/10.1134/S1063782617030095>
16. Ecker B. Egelhaaf H.J. et al. Understanding S-Shaped Current–Voltage Characteristics in Organic Solar Cells Containing a TiOx Interlayer with Impedance Spectroscopy and Equivalent Circuit Analysis. J. Phys. Chem. C, 2012, 116 (31), 1932-7447.
17. Mohtashim M. Ibraheem H. et al. Silicon diode temperature sensors - A review of applications. Sensors and Actuators A Physical. 10.1016/j.sna.2015.04.022. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.04.022>
18. S.Z. Zainabidinov, A.Y. Boboev, N.Y. Yunusaliyev, and J.N. Usmonov, “An optimized ultrasonic spray pyrolysis device for the production of metal oxide films and their morphology,” East Eur. J. Phys. 3, 293 (2024), <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-3-30>
19. S. Zainabidinov, A. Y. Boboev, Kh. A. Makhmudov, et al., “Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures,” Applied Solar Energy, 57(6), 475–479 (2021). <http://doi:10.3103/S0003701X21060177>

20. A.S. Saidov, Sh.N. Usmonov, M.U. Kalanov, Kh.M. Madaminov, Effect of gamma irradiation on photoconductivity and photosensitivity of Si1 – x Snx solid solutions, Heliotechnical Materials Science, 2011, 47, 48–51 <https://doi.org/10.3103/S0003701X11010142>

21. M. Zhang, X. Wu, Z. Wang, L. Sun, Y. Ren, Y. Liu, R. Li, R. Ding, Y. Wei, F. Yang, J. Feng, W. Hu, Organic Semiconductor-Based Polarized Photodetectors for Next-Generation Optoelectronics. Adv. Funct. Mater. 2025, 2423932. <https://doi.org/10.1002/adfm.202423932>

22. Baeg, K.-J., Binda, M., Natali, D., Caironi, M. and Noh, Y.-Y. (2013), Organic Light Detectors: Photodiodes and Phototransistors. Adv. Mater., 25: 4267–4295. <https://doi.org/10.1002/adma.201204979>

Al-pGe(p-i-n)-Au va Au-nSi-Al STRUKTURA ASOSIDAGI IONLASHTIRUVCHI NURLARNI ANIQLOVCHI DETEKTORLARNING TEXNOLOGIK VA ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI

¹Maripov Ilhom Isakovich, ²Xasanov Sardor Faxriddinovich

³Yuldashev Yusuf Toshpo'latovich

¹Toshkent davlat agrar universiteti fizika kafedrası o'qituvchisi

²Toshkent davlat agrar universiteti fizika kafedrası katta o'qituvchisi

³Toshkent davlat agrar universiteti fizika kafedrası o'qituvchisi

imaripov@list.ru

ORCID 0009-0005-1683-2260

UDK 621.315.592

Annotatsiya. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati yadroviy nurlanishlarni qayd qiluvchi Al-pGe(p-i-n) struktura asosidagi yarimo'tkazgichli detektorlar tayyorlash uchun yangi texnologik jarayonlar ko'rilgan va ularning elektrofizik xarakteristikasi aniqlanilgan. Yarimo'tkazgichli detektorlar ishchi yuzasi, energetik ajrata olish qobiliyati, ishchi kuchlanish, teskari toki, detektor sig'imi va energetik ekvivalenti detektorning asosiy parametrlari hisoblanadi. Yarimo'tkazgichli detektorlarning aniq turi eksperiment uchun detektorning fizikaviy va operatsion xususiyatiga qarab, ya'ni u bilan ishlashga qulayligi bilan tanlanadi. Yarimo'tkazgichlarda turli defektlarni tadqiq qilish, nazorat va mumkin bo'lganda ularning konsentratsiyasini boshqarish imkonining bo'lishi, yadroviy nurlanishni yuqori sifatli yarimo'tkazgichli detektorlarni ishlab chiqishda prinsipial ko'rsatkichga ega, chunki ular bunday asboblarning asosiy hisoblash spektrometrik xarakteristikalarini aniqlaydi. Bunday natijalar har xil yarimo'tkazgichli qurilmalarni amaliyotda qo'llashda muhim ahamiyat kasb etishi bilan izohlanadi. Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati yarimo'tkazgich monokristall kremniy asosida Al-pGe(p-i-n) strukturali detektorlar ishlab chiqish va ularni joriy etishdan iborat.

Kalit so'zlar: detektor, geterostruktura, gamma kvant, spektr, zaryad, elektron, yarimo'tkazgich, kristall, ionizatsion kamera, rekonbinatsiya, elektr maydon.

TECHNOLOGICAL AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF IONIZING RADIATION DETECTORS BASED ON THE STRUCTURES OF AL-pGe(p-i-n)- Au AND AU-nSi-Al

Abstract. The scientific significance of the research results is that new technological processes for the preparation of semiconductor detectors based on the Al-pGe(p-i-n) structure that reflect nuclear radiation have been considered and their electrophysical characteristics have been determined. The working surface of semiconductor detectors, energy separation ability, operating voltage, reverse current, detector capacitance and energy equivalent are the main parameters of the detector. The specific type of semiconductor detectors is selected depending on the physical and operational properties of the detector for the experiment, that is, the convenience of working with it. The ability to study, control and, if possible, control their concentration of various defects in semiconductors is a fundamental indicator in the development of high-quality semiconductor detectors of nuclear radiation, since they determine the main computational spectrometric characteristics of such devices. Such results are explained by the fact that they are of great importance in the practical application of various semiconductor devices. The practical significance of the research results is the development and implementation of Al-pGe(p-i-n) structural detectors based on semiconductor monocrystalline silicon.

Keywords: detector, heterostructure, gamma quantum, spectrum, charge, electron, semiconductor, crystal, ionization chamber, recombination, electric field.

Kirish. Hozirgi kunda jahon amaliyotida yarimo'tkazgichli qurilmalardan foydalangan holda yadroviy nurlanishlarni qayd qilish sohasi jadallik bilan rivojlanib bormoqda. Yadroviy nurlanishlarni qayd etish uchun mavjud yarimo'tkazgichli qurilmalarni takomillashtirish va yangi zamonaviy qurilmalar ishlab chiqish talab

etiladi.[1] Bu borada yarimo'tkazgichli Al-pGe(p-i-n) struktura asosidagi detektorlar alohida o'rin egallaydi. Yarimo'tkazgichli Al-pGe(p-i-n) strukturali detektorlar yadro spektrometriyasi bir qator vazifalarda yetakchi o'rinni egallaydi. Dunyo miqyosida kichik o'lchamli yarimo'tkazgichli detektorlar ishlab chiqish keng rivojlangan. Dunyo olimlari tomonidan hozirgi kungacha 50 mm o'lchamga ega Si(Li) p-i-n – struktura asosidagi yarimo'tkazgichli detektor ishlab chiqarilgan.[2] Yarimo'tkazgichli Si(Li) p-i-n struktura asosidagi detektorlarda kremniy kristallining hajmida ma'lum bir chuqurlikka kerakli litiy ionlarini bir xil taqsimlash konsentratsiyasini ta'minlash muhim ahamiyatga egadir. Tanlab olingan kirishma atomlarini kristallning asosiy qismiga kiritishning keng qo'llanilgan diffuziya va dreyf usuli jarayonlariga asoslangan holda, ushbu texnologik jarayonlarni takomillashtirish va kirishma atomlarini kristall hajmida bir xil taqsimlash talab etiladi.[3]

Tadqiqot obyekti va qo'llanilgan metodlar. Yadro nurlanishlarini qayd qiluvchi yarimo'tkazgichli detektorlar tayyorlash murakkab bo'lib, mexanik, kimyoviy va temperaturali operatsiyalardan hamda strukturaviy dizaynlardan iborat.[4] Ularning har biri o'z vazifasiga ega va aniq nazoratni talab qiladi. Yadro nurlanishning xarakteristikasini juda uzoq vaqt mobaynida saqlab qolishi, yarimo'tkazgichli detektorlarning namunaviy texnologiyalari asosida aniqlanadi. Quydagi ketmaketlikda nurlanishning kremniyli detektorlarda olish usullari detektorlar tayyorlashning alohida bosqichlari hamda texnologik jarayonlarning nazorati ko'rib chiqildi.

Tadqiqotda diametri θ ($10 \div 30$) mm va qalinligi $d=(1 \div 3)$ mm bo'lgan kremniy plastinalari $\rho = (0,01 \div 5)$ kOm sm, $r=(50-1000)$ mks p-turidagi kremniy monokristallarini olmosli diskni ichki kesuvchi yoyi usuli bilan olinadi. Kesish vaqtida buzilgan qatlamni yo'qotish uchun silliqlovchi uskunada M-14, M-5 mikroporoshokdan foydalanib 2 taraf lama shlifovka qilinadi, keyinchalik diametr kamaytirib boriladi.[5] Bunda har bir tomonidan 50 mkm.dan kam bo'lmagan qalinlikda qatlam olib tashlanadi. Plastinalar ishqori bo'lmagan sovunli deionizatsiyalangan suv bilan shlifovka qilingach, ultratovushli vannada qayta ishlov beriladi. Silliqlash (shlifovka) jarayonida paydo bo'lgan shikastlanish chuqurligi silliqlangan kukun zarrasidan sezilarli darajada katta bo'ladi. Olmosli kukundan foydalanilganda esa shikastlanish chiqurligi undan ham ko'proq bo'ladi. Mexanik silliqlashni to'liq qirish (travleniya) bilan o'zgartirish mumkin. Kimyoviy yemirilish jarayonidan oldin kremniy plastinasi sirti tozalab olinadi, namuna distillangan suvda 15 minutdan kam bo'lmagan vaqtda yuviladi. Kremniy plastinasini kimyoviy ishlov berishda ftorli vodorod (HF), azot (HNO_3) va sirka (CH_3COOH) kislotalari ftoroplast materialidan tayyorlanilgan vannada kimyoviy qorishma tayyorlab olinadi va amalga oshiriladi. [6] Kimyoviy yemirilish jarayoni 1:5:1 nisbatda kislotalar yordamida qorishma tayyorlanib olinadi va harorati 5°C gacha pasaytiriladi. Bunda qorishma va vanna harorati past bo'lsa, kimyoviy yemirilish jarayoni sekin amalga oshadi, shu asnoda $15 \div 20$ daqiqa oralig'ida elektrodvigatel qurilmasidan foydalanilgan holda amalga oshirildi va yemirilishni vaqt birligida nazorat qilish imkonini beradi. Elektrodvigatel qurilmasidan foydalanilgan kimyoviy yemirilish jarayoni bir tekis amalga oshishi kuzatiladi. Harorat qancha past bo'lsa, silliqlash tezligi shunchalik sekinroq bo'ladi. Silliqlash jarayoni uchun optimal tezlik 4 mkm/min deb hisoblanadi. Kimyoviy silliqlash jarayoni uchun ftoroplastik vanna ishlatilgan. Tekis sirtini olish uchun ftoroplastik vannada kremniy plastinka 15-20 daqiqa aylantiriladi.[7]

Olingan natijalar va ularning tahlili. Eksperimental tadqiqotlar o'tkazishga mo'ljallangan kremniy plastinkalari ustida yuqorida aytib o'tilgan ishlar bosqichma-bosqich bajarilgandan keyingi holatlari 1-(a, b, c) rasmda ko'rsatib o'tilgan.



a) Kremniy plastinkasining kesilgandan keyingi ko‘rinishi

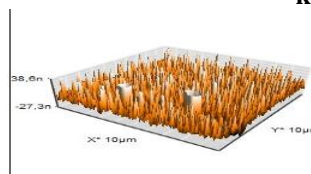


b) Kremniy plastinkasiga mexanik ishlov berilgandan keyingi ko‘rinishi

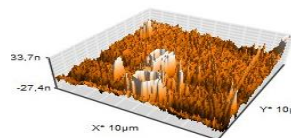


s) Kremniy plastinkasiga kimyoviy ishlov berilgandan keyingi ko‘rinishi

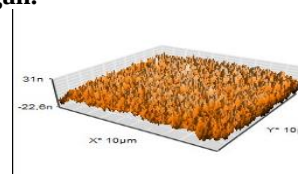
2-(a-b-s) rasmlarda texnologik jarayonlardan so‘ng atom kuch mikroskop - AFM tomonidan olingan kremniy plastinalarning tasviri ko‘rsatilgan.



a) Kremniy plastinkasining kesilgandan keyingi ko‘rinishi



b) Kremniy plastinkasiga mexanik ishlov berilgandan keyingi ko‘rinishi



s) Kremniy plastinkasiga kimyoviy ishlov berilgandan keyingi ko‘rinishi

2 (a)-rasmdan ko‘rinib turibdiki, kremniy plastinasi kesilgandan so‘ng yuzasida 38 nm qalinlikda notekisliklar hosil bo‘ladi; 2 (b) mexanik ishlovdan so‘ng 33,7 nm qalinlikka tushiriladi. 2 (s) rasmda kimyoviy tozalashdan keyin nosimmetrik qatlam 31 nm gacha tushiriladi. Butun texnologik jarayondan so‘ng kremniy yuzasida nosimmetrik qatlam kamayib borishi ko‘rsatilgan. Yarimo‘tkazgichli detektorlarni yuqori energetik yechimlar bilan birga olib borilishini ta‘minlash murakkab masalalardan biridir. Bu, avvalambor, yarimo‘tkazgichli detektorlar uchun dastlabki yarimo‘tkazgichli materiallarni o‘stirish texnologiyalari va ularning parametrlari bilan bog‘liqdir. Yarimo‘tkazgichli detektorlarni sezuvchi hajmida joylashgan lokal va aralashmali polosalar uning radiometrik xarakteristikasini yomonlashtiradi. Kremniy yoki germaniyga kiritilgan litiy xususiyati shundayki, taxminan to‘liq kompensatsiyali qalinligi 1 sm.dan ko‘p bo‘lgan katta sohalarni yaratish imkonini beradi, demak, xususiyga yaqin o‘tkazish sohasini ham yaratish imkonini beradi. Bu IV valentli kristallarda litiy ionlarining yuqori harakatchanligi bilan qanday bog‘liq bo‘lsa, uning ionizatsiyasining past energiyasi bilan ham shunday bog‘liq (0.033 eV Si da va Ge da – 0,0043eV). Masalan, germaniyda litiy diffuziyasi harakatchanlik koeffitsiyenti oddiy donorlarga nisbatan 10^7 marta ko‘p, chunki litiy ioni radiatsiyasi kichik bo‘lganligi sababli panjara tugunlarida emas, tugunlar orasida joylashishi mumkin. Kichik hajmli kristallarda litiy ionlari dreyf jarayonini olish uchun maxsus qurilma ishlab chiqilgan. Litiy ionlari dreyfi qurilmasi konstruktiv ravishda kristallar joylashadigan termostat ko‘rinishida bo‘ladi. Duralyumindan qilingan platforma kristallarni p-sohasiga umumiy kontakt bo‘lib xizmat qiladi, yuqoridan siquvchi kontakt yassi parallel misli shayba yordamida amalga oshiriladi. Tayyor bo‘lgan namunalarga litiy diffuziyasi $p \sim 10^{-5}$ mm.Hg vakuumda ($50 \div 200$) mkm chuqurlikda $t = (1 \div 2)$ daqiqa ichida $T = (380 - 450)^\circ\text{C}$ temperaturasida plastinaning hamma yuzasi bo‘yicha o‘tkaziladi (3-rasm). Kristallar 250°C temperaturagacha sekin-asta sovitilgan, tez sovitishda hosil bo‘ladigan defektlar generatsiyasini va xona temperaturasida otilib ketishini istisno qilish uchun diffuziya chuqurligi sharhliif usul bilan nazorat qilingan.

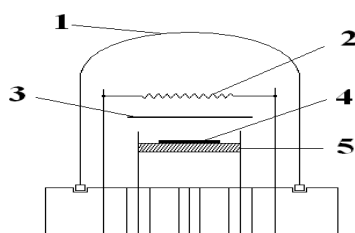
P-tip kremniyga Li diffuzuya chuqurligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi.[8]

$$x_j = 2\sqrt{Dt} \operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{N_A}{N_0} \right) \quad (1)$$

Bu yerda D-diffuziya koeffitsiyenti hisoblanib solishtirma qarshiligi $\rho \sim 1000$ om sm bo‘lgan p-tip kremniyda quyidagicha hisoblanadi.

$$D = 6 \cdot 10^{-4} \exp \left(\frac{-0,61 q}{k_B T} \right) \left[\text{sm}^2 / \text{s} \right] \quad (2)$$

Bu yerda q-elementar zaryad, k_B -Bolsman doimiysi T esa temperatura Kelvinda



3- rasm Litiy diffuziyasining amalga oshirish uchun qurilma sxemasi:

1-vakuum o'rnatilgan hajm

2-qizdirgich (bug'latkich)

3-qopqoq

4-namuna

5-qizdirilgan element

p- materialda litiy dreyfi yordamida akseptorli atomlar kompensatsiyasi quyidagicha ishlab chiqiladi. Avval litiy p-materialga yo'naltiriladi, so'ngra temperatura taxminan 430⁰ C gacha ko'tariladi va litiy namuna ichida diffundirlanadi. Diffuziya bir necha daqiqa davom etadi, va litiy taxminan 0,01 mkm chuqurlikda diffundirlanadi. Shundan so'ng p-n o'tishga qaytuvchi litiy ionlari o'tishning n- tomonidan p-tomoniga qarab harakatlanishni boshlaydilar, u yerda ular p-materialning akseptorli atomlarini kompensatsiyalaydilar. [9]

Qashshoqlangan qatlamni dreyfi natijasida olingan qalinligi uchun hisoblashlar quyidagi formulani beradi:

$$d = \sqrt{2\mu_{Li}Ut} \quad (3)$$

Dreyf vaqti quyidagicha aniqlanadi.

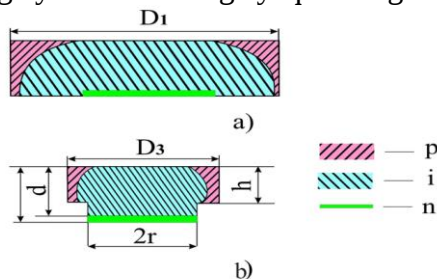
$$t = \frac{w^2}{2v\mu_L} \quad (4)$$

bunda μ_{Li} – dreyf temperaturasida berilgan yarimo'tkazgichlarda ionlar harakatchanligi. Harakatchanlikning diffuziya koeffitsiyentiga bog'liqligi.

$$\mu_{Li} = \frac{q}{k_B T} \cdot D \left[\frac{\text{sm}^2}{(\text{V} \cdot \text{s})} \right] \quad (5)$$

U – dreyfda siljish kuchlanishi, t – dreyf vaqti, soatda sezgirlik sohasida litiy taqsimlanish profilini minimal yuvib ketishdagi berilgan kompensatsiyani olish uchun zarur bo'lgan litiy ionlari dreyfi temperaturaviy rejimi batafsil bayon etilgan [10].

Dreyf bir taraflama $T=(60\div 100)^{\circ}\text{C}$ da, qaytuvchi siljish kuchlanishi 70÷600 V da 4 sutka davomida o'tkazilgan. Dreyfning yakunlanishi qaytuvchi tokning tez o'sishi bo'yicha qayd etiladi. i-sohani aniqlash uchun dreyf tugagandan so'ng kristallni n^+ -sohasining tomonlaridan biri n^+ -i- p^+ strukturasi kremniy karbidi mikroporoshogi bilan shishali disk ustida shliflanadi. Yo'qotilayotgan qatlam qalinligi diffuzion profilni yuvish hisobiga nazarga olinadi. Shliflangan qatlam qalinligi asosan 50 ÷ 400 mkm ni tashkil qiladi. i-sohani chiqarib tashlash dekorlanuvchi yemiruvchi $\text{HNO}_3:\text{HF}=1:1000$ yordamida o'tkaziladi. i-soha to'liq chiqarib tashlangan hisoblanadi, qachonki uning konturlari diffuzion soha diametrigateng aylana diametriga yaqin bo'lganda.[11]



4-rasm. Detektorning kesilgan ko'rinishi.

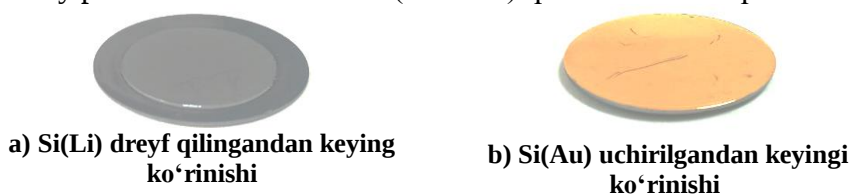
a – planar formalar, b – T namunaviy formalar D –detektor diametr, R –i –sohaning qalinligi, h –p-sohaning qalinligi, 2r –n-sohaning diametri

Shuni ta'kidlash lozimki, kremniyni diffuzion legirlashda temperaturaviy- vaqtiy rejimni tanlashni termodefektlar hosil qiluvchi sharoitlarini hisobga olib o'tkazish lozim. Si(Li) p-i-n detektorlar texnologiyasida litiy asosan diffuziyasi uchun ishlatiladigan

300÷500 °C temperatura intervalida 450°C kritik temperaturaga ega, bunda donor turidagi termodefektlarning intensiv generatsiyasi sodir bo'ladi.

Ma'lum bo'lgan Si(Li) p-i-n detektorlarning litiy-dreyfli texnologiyasi kerak bo'lgan litiy diffuzion profili olish uchun, sovitish jarayonida litiy taqsimlanishining yuvilishini oldini olish maqsadida kristall tez sovitiladi. Biroq bunda sovitish tezligi ($10^2 \div 10^3$) grad/s mustahkam termodefektlarni hosil qilishiga olib keladi, keyinchalik ular yarimo'tkazgichli detektorlarning xarakteristikasiga negativ ta'sir qiladi [12].

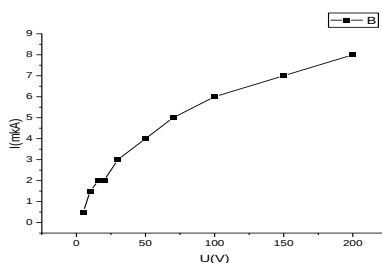
Tayyor kremniy plastinkalariga kontakt hosil qilish vakuum universal post qurilmasida VUP-4 amalga oshirildi. Maxsus dizayndagi tagliklar molibden va volframdan tayyorlanadi, ular spirtida yuviladi va keyin 10-15 daqiqa davomida vakuumda qizdiriladi. Molibden uzunligi 40 mm, bug'latgich va kremniy plastinkasi orasidagi masofa 80 mm qilib olingan. Tayyor kremniy plastinkalari bug'latkichga joylashtirildi va $5 \cdot 10^{-5}$ mm sim ust bosim ostida vakuumli qurulma orqali kontaktlar olinadi. Kontakt sifatida kremniy plastinkalar uchun oltin (~ 200 Å) qalinlikda hosil qilindi



5-rasm. Detektorning kontakt hosil qilingandan keyingi ko'rinishi

Si(Li) p-i-n strukturali detektorlarning voltamper (VAX) xarakteristikasi GOST 26222-86 metodikasi bo'yicha tadqiq qilindi. Yuqorida qayd qilingan xarakteristikani tadqiq qilish uchun qorong'i tok kattaliklari haqidagi ma'lumotlarni bir vaqtda olish imkonini beruvchi detektorlar teskari tok o'lchovchi maxsus qurilma ishlab chiqilgan va tayyorlangan.

Siljish kuchlanishi U_{tes} 0,1÷800 V oraliqlarida o'rnatiladi, I_{tes} tok o'lchash chegaralari 1, 10 va 100 mkA ni tashkil etadi.



6-rasm. Yarimo'tkazgichli Si (Li)p-i-n strukturali detektorlarning volt-amper xarakteristikalari keltirilgan.

6-rasmda T-ko'rinishli kesimga ega detektorning minimal va maksimal I_{ch} qiymatlariga ega chiqish tokining U_{ch} kuchlanishga bog'liqligi ko'rsatilgan. Ushbu rasmdan ko'rish mumkinki, butun hajm uchun chiqish toklarining qiymati 200 V da 0,5 ÷ 9 mkA intervalda yotadi. Bu shuni anglatadiki, o'lchami (diametri 30 mm, qalinligi 2 mm) kremniy hajmidagi litiy ionlari tomonidan birjinsli kompensatsiyaga erishilgan. Ushbu olingan natijalar yarimo'tkazgichli detektorlar uchun eng yaxshi natijalar bo'lib hisoblanadi. Shunday qilib, tekshirilishlar va texnologik ishlarni amalga oshirish natijasida p-i-n strukturali Si(Li) asosidagi yarimo'tkazgichli detektorlarning tayyorlanish texnologiyasi ishlab chiqildi va optimizatsiya qilindi.

Xulosalar. Adabiyotlar sharhini o'rganish davomida yarimo'tkazgichli detektorlar ishchi yuzasi, energetik ajrata olish qobiliyati, ishchi kuchlanish, teskari tok, detektor sig'imi va energetik ekvivalenti detektorning asosiy parametrlari hisoblanadi. Yarimo'tkazgichli detektorlarning aniq turi eksperiment uchun detektorning fizikaviy va operatsion xususiyatiga qarab, ya'ni u bilan ishlashga qulayligi bilan tanlanadi. Yarimo'tkazgichlarda turli defektlarni tadqiq qilish, nazorat va mumkin

bo'lganda ularning konsentratsiyasini boshqarish imkonining bo'lishi yadroviy nurlanishni yuqori sifatli yarimo'tkazgichli detektorlarni ishlab chiqishda prinsipial ko'rsatgichga ega, chunki faqat ular natijada bunday asboblarning asosiy hisoblash spektrometrik xarakteristikalarini aniqlaydi. Xulosa qilib shuni ta'kidlash lozimki, olinayotgan materialning strukturaviy defekt sohasida va unga dastlabki kremniyni strukturaviy defekti ta'sirini o'rganish uchun qo'shimcha tadqiqotlar olib borish kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Boyko V.I., Jerin I.I., Karatayev V.D., Nedbaylo Yu.V., Silayev M.E. Methods and equipment for the measurement of nuclear and radioactive materials"../Uchebnoe posobie, 2011, C 44-56
2. V.K. Yeremin, E.M. Verbitskaya, I.N. Ilyashenko, I.V. Yeremin, N.N. Safonova and others "Intersegment resistance in silicon position-sensitive radiation receivers based on n-n junctions // Physics and technology of semiconductors", 2009. Volume 43, vyp. 6, S. 825-829.
3. Azimov S.A., Muminov R.A., Shamirzaev S.Kh., Yafasov A.Ya. Silicon lithium nuclear detectors. Tashkent: Science, 1981. P.3-87.14. Yu.A. Akimov Use of seven-conductor detectors in high-energy fissss // Physics of elementary particles and atomic nucleus -1977, tom 8, vyp. 1. S.193-219.
4. S.V. Zaitseva, S.Y. Kupreenkova, E.I. Raua, and A. A. Tatarintsev Semiconductor Detectors of Backscattered Electrons in a Scanning Electron Microscope: Characteristics and Applications Instruments and Experimental Techniques, 2015, Vol. 58, No. 6, pp. 757-764.
5. A. I. Boriskin, V. M. Eremenko, S. N. Mordyk, O. R. Savin, A. N. Skripchenko, V. E. Storizhko, and S. N. Khomenko // Ion-Optical Characteristics of a Laser Mass Spectrometer with a Coordinate-Sensitive Microelectronic Detector Technical Physics, 2008, Vol. 53, No. 7, pp. 927-933.
6. V.I. Murygin High-frequency barrier capacitance of a metal-semiconductor contact and a narrow n-n junction // Physics and technology of semiconductors, 2004. Volume 38. Vyp. 6, S. 702-704.
7. Yu.B. Gurov, B.A. Chernyshev // Telescopic semiconductor detectors for accelerator experiments // Moscow 2012. Pp. 3-96. 157
8. V. N. Murashev, S. A. Legotin, O. M. Orlov, A. S. Korolchenko, and P. A. Ivshin // A Silicon PositionSensitive Detector of Charged Particles and Radiations on the Basis of Functionally Integrated Structures with NanoMicron Active Regions // Instruments and Experimental Techniques, 2010, Vol. 53, No. 5, pp. 657-662.
9. Abyzov, V.M. Azhazha, L.N. Davydov, G.P. Kovtun, V.E. Kutniy, A.V. Fish "Selection of semiconductor material for gamma radiation detectors Journal of Materials for Microelectronics". 2004. № 3. P. 3-6.
10. A. S. Radzhapov "A Versatile Spectrometer Based on a Large-Volume Si(Li) p -i- n Structure Instruments and Experimental Techniques", 2007, Vol. 50, No. 4, pp. 452-454.
11. Abizov, V.M. Ajaja, L.N. Davidov, G.P. Kovtun, V.E. Kutniy, A.V. Ribka Vibor poluprovodnikovogo materiala dlya detektorov gamma-izlucheniya Jurnal Materiali dlya mikroelektroniki. 2004. № 3. S. 3-6.
12. A. S. Radzhapov A Versatile Spectrometer Based on a Large-Volume Si(Li) p -i- n Structure Instruments and Experimental Techniques, 2007, Vol. 50, No. 4, pp. 452-454.

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ: ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗ

**Шахбоз Хасанов, Улугбек Тухтаев,
Жавлонбек Бахрамов**

Самаркандский государственный университет
имени Шарофа Рашидова

shakhbozkhasanov93@gmail.com

ORCID 0000-0001-6787-9492

UDK: 539.163:504.069

Аннотация. Протонная терапия, благодаря своей точности, минимизирует воздействие на здоровые ткани, но вызывает наведенную радиоактивность в гантри-комнате. В исследовании изучена наведенная радиоактивность в системе Varian ProBeam с использованием режима сканирования карандашным пучком (PBS). Основным источником остаточной радиации оказался пациент, с максимальной мощностью дозы 15,5 мкЗв/ч на поверхности тела. Дозы облучения для персонала и сопровождающих лиц значительно ниже допустимых пределов (максимум 2,264 мЗв/год). Дополнительная доза для пациентов составила 48,865 мкЗв за сеанс, что незначительно в сравнении с терапевтической дозой.

Ключевые слова: протонная терапия, наведенная радиоактивность, оценка доз.

PROTON TERAPIYASIDA RADIATSION XAVFSIZLIK: O'LGHASHLAR VA TAHLIL

Annotatsiya. Proton terapiyasi o'zining aniqligi tufayli sog'lom to'qimalarga ta'sirni minimallashtiradi, lekin gantri xonasida induksiyalangan radioaktivlikni keltirib chiqaradi. Tadqiqotda Varian ProBeam tizimida qalam nur (PBS) skanerlash rejimidan foydalangan holda induksiyalangan radioaktivlik o'rganildi. Qoldiq nurlanishning asosiy manbai bemor bo'lib, uning tana yuzasida maksimal dozasi 15,5 mSv/soatni tashkil etdi. Xodimlar va bemorga hamrohlik qiluvchi shaxslar uchun nurlanish dozalari ruxsat etilgan chegaralardan ancha past bo'lib, maksimal qiymati 2,264 mSv/yilni tashkil etdi. Shuningdek, bemorlar uchun qo'shimcha nurlanish dozasi har bir seans uchun 48,865 mSv ekani aniqlanib, bu terapevtik dozaga nisbatan ahamiyatsiz ekani qayd etildi.

Kalit so'zlar: proton terapiyasi, induksiyalangan radioaktivlik, dozani baholash.

Введение. Протонная терапия завоевала признание в лечении онкологических заболеваний благодаря своим уникальным физическим свойствам, таким как пик Брэгга, и высокой относительной биологической эффективности (ОБЭ) [1]. Пик Брэгга позволяет точно доставлять дозу облучения в опухоль, минимизируя воздействие на окружающие здоровые ткани. Это делает протонную терапию особенно эффективной для лечения опухолей, расположенных вблизи критических органов, таких как головной мозг, позвоночник и глаза [2], [3].

Согласно данным Группы по сотрудничеству в области протонной терапии (PTCOG), в мире насчитывается 117 действующих установок протонной терапии, 37 находятся в стадии строительства и 38 запланированы к реализации [4]. Этот рост популярности протонной терапии обусловлен ее преимуществами перед традиционной фотонной терапией, включая снижение дозовой нагрузки на здоровые ткани и уменьшение риска развития вторичных опухолей [5].

Одним из побочных эффектов протонной терапии является активация материалов в гантри-комнате, вызванная ядерными реакциями между протонным пучком, вторичными частицами и окружающими конструкциями. Это приводит к образованию радионуклидов, которые могут представлять риск облучения для медицинского персонала, сопровождающих лиц и пациентов. Наведенная радиоактивность может сохраняться в течение некоторого времени после завершения сеанса терапии, что требует тщательного изучения и контроля [6], [7]. В связи с этим важно изучить источники и распределение наведенной радиоактивности [8], а также оценить дозы облучения для различных групп лиц, находящихся в гантри-комнате. Это позволит разработать эффективные меры радиационной защиты и минимизировать риски для персонала и пациентов.

Целью данного исследования является экспериментальное изучение наведенной радиоактивности в гантри-комнате системы протонной терапии Varian ProBeam и оценка доз облучения для медицинского персонала, сопровождающих лиц и пациентов.

Материалы и методы. Экспериментальные измерения проводились в гантри-комнате системы протонной терапии Varian ProBeam (клиника Ганьсу, Китай), которая обеспечивает максимальную энергию протонного пучка 245 МэВ и максимальный ток пучка 4 нА. Для лечения пациентов использовался режим сканирования карандашным пучком (PBS), известный своей высокой точностью и гибкостью (рис. 1.).

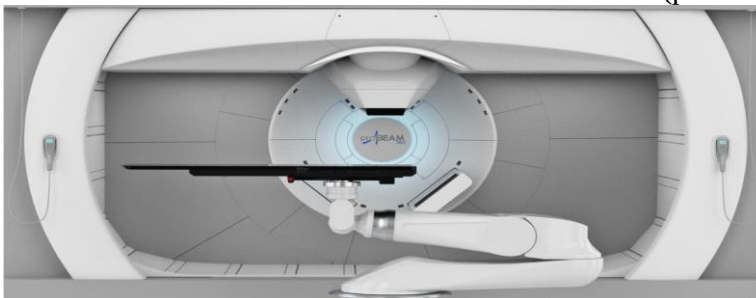


Рис.1. Схема гантри-комнаты.

В качестве модели пациента использовался фантом Chengdu Dosimetric Phantom (CDP). Измерения остаточных мощностей доз проводились в трех точках:

на поверхности тела пациента, на краю кушетки и на поверхности сопла. Для измерений использовалась ионизационная камера Fluke 451P, предварительно откалиброванная.

После завершения сеанса терапии исследователи входили в гантри-комнату и измеряли мощность дозы в каждой точке в течение 10 секунд, фиксируя стабильные значения. Измерения проводились с интервалом в одну минуту.

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментальных измерений.

Остаточные мощности доз в указанных точках варьировались от 0,68 до 15,5 мкЗв/ч (таблица 1). Основным источником остаточной радиации был идентифицирован пациент, что подтверждается высокими значениями мощности дозы на поверхности тела пациента (до 15,5 мкЗв/ч через 1 минуту после облучения). Это связано с активацией тканей пациента в результате взаимодействия протонного пучка с ядрами атомов.

Интересно отметить, что в некоторых случаях мощность дозы на поверхности сопла была сопоставима или даже превышала значения на краю кушетки. Например, через 1 минуту после облучения мощность дозы на поверхности сопла составила 1,22 мкЗв/ч, что лишь немногим меньше, чем на краю кушетки (7,0 мкЗв/ч). Это указывает на значительный вклад потерь пучка в режиме PBS внутри сопла в наведенную радиоактивность. Такие потери могут быть связаны с взаимодействием протонного пучка с материалами сопла, такими как полиимидная пленка и другие компоненты.

Таблица 1.

Остаточные мощности доз в различных точках гантри-комнаты

Местоположение	Время охлаждения (мин)	Мощность дозы (мкЗв/ч)
Поверхность тела пациента	1	15,5
	2	12,4
	5	8,3
Край кушетки	1	7,0
	2	5,5
	5	3,3
Поверхность сопла (Nozzle)	1	1,22
	2	1,11
	5	0,68

Оценка доз для персонала.

В исследовании проведена оценка доз облучения для медицинского персонала, сопровождающих лиц и пациентов. Максимальная годовая доза, полученная медицинскими работниками при позиционировании и удалении пациента с кушетки, составила 0,322 мЗв и 1,250 мЗв соответственно (таблица 2). Эти значения значительно ниже предела профессионального облучения в 20 мЗв/год, установленного международными стандартами [9], [10].

Доза облучения, полученная сопровождающими лицами в течение курса терапии, составила $7,469 \times 10^{-2}$ мЗв при первом контакте через 5 минут на расстоянии 50 см от пациента (таблица 3). Это также значительно ниже допустимых пределов, что свидетельствует о низком риске для сопровождающих лиц [11].

Таблица 2.

Годовая доза для медицинского персонала

Деятельность	Расстояние от пациента (см)	Время первого контакта (мин)	Годовая доза (мЗв/год)
Удаление пациента	50	1	1,014
	70	1	0,593
	100	1	0,322
Позиционирование пациента	70	5	1,250
	100	14	0,683

Таблица 3.

Доза для сопровождающих лиц

Расстояние от пациента (см)	Время первого контакта (мин)	Интегральная доза от общего курса терапии (мЗв)
50	9	$7,293 \times 10^{-2}$
70	5	$4,40710^{-2}$
100	14	$2,301 \times 10^{-2}$

Дополнительная доза, полученная пациентами после одного сеанса терапии, составила 48,865 мкЗв, что менее двух тысячных от предписанной дозы. Это подтверждает, что дополнительное облучение пациентов от наведенной радиоактивности является незначительным и не представляет существенного риска для их здоровья.

Заключение. В данном исследовании были проведены измерения наведенной радиоактивности в гантри-комнате системы протонной терапии Varian ProBeam, работающей в режиме PBS, и оценены дозы облучения для медицинского персонала, сопровождающих лиц и пациентов. Основным источником наведенной радиоактивности был идентифицирован пациент, при этом мощность дозы на поверхности тела пациента достигала 15,5 мкЗв/ч через 1 минуту после облучения. Также выявлен значительный вклад сопла в наведенную радиоактивность, что связано с потерями пучка в режиме PBS.

Максимальная годовая доза для медицинского персонала составила 2,264 мЗв, что значительно ниже установленного предела профессионального облучения (20 мЗв/год). Дополнительная доза, полученная пациентами после одного сеанса терапии, составила 48,865 мкЗв, что менее двух тысячных от предписанной дозы. Для сопровождающих лиц доза облучения в течение курса терапии составила $7,469 \times 10^{-2}$ мЗв, что также значительно ниже допустимых пределов.

Для минимизации необязательного облучения рекомендуется сократить время контакта медицинского персонала и сопровождающих лиц с пациентом, а также увеличить расстояние до активированных компонентов, таких как кушетка и сопло. Эти меры позволят снизить дозовую нагрузку на персонал и пациентов без ущерба для качества лечения.

Список использованной литературы

1. Tujii H. *et al.* Research on radiation protection in the application of new technologies for proton and heavy ion radiotherapy // *Japanese J. Med. Phys.*, 2009. Vol. 28, No. 4, pp. 172-206.
2. Палатова Т.С., Шивилова М.Ю., Шонус Д.Х., Бондарь Д.В. Протонная терапия. История развития и показания к проведению. // *Столичное здравоохранение в призме глобального лидерства*, 2020. – С. 34-35.
3. Гордон К.Б., Смык Д.И., Гулидов И.А. Протонная терапия в лечении опухолей области головы и шеи: состояние проблемы и перспективы развития (обзор). // *Современные технологии в медицине*, 2021. Вып. 13, № 4. – С. 70-81.
4. Particle Therapy Co-Operative Group, “No Title,” 2024. [Online]. Available: <https://www.ptcog.ch/index.php>.
5. Солодкий В.А., Измайлов Т.Р., Полушкин П.В. Сравнение эффективности протонной и фотонной терапии у пациентов с глиомами головного мозга // *Сибирский онкологический журнал*, 2021. Вып. 20, № 2. – С. 127-135.
6. Wu Q. *et al.* Study on patient-induced radioactivity during proton treatment in hengjian proton medical facility. // *Appl. Radiat. Isot.*, 2016. Vol. 115, pp. 235-250.
7. Yu Y. and Chen Z. Study on induced radioactivity in proton therapy accelerators. // *Radiat. Phys. Chem.*, 2024. Vol. 221, p. 111751.
8. Khasanov S., Yang B., Su Y., Safarov A. and Yang Y. Induced radioactivity at particle accelerators: a short review. // *Radiat. Detect. Technol. Methods*, 2021.
9. Vennart J. Limits for intakes of radionuclides by workers: ICRP Publication 30 // *Health Phys.*, 1981. Vol. 40, No. 4, pp. 477-484.
10. Valentin J. *The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection*. // Elsevier Oxford, 2007. Vol. 37, No. 2-4.
11. Иванов В.К., Кайдалов О.В., Кашеева П.444444В., Корело А.М., Панфилов А.П., Василенко Е.К. Оценка индивидуальных радиационных рисков при различных сценариях профессионального хронического облучения. // *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра)*, 2008. Вып. 17, № 2. – С. 9-29.

TARKIBIDA AMINO GURUH TUTGAN MAHALLIY SORBENTGA Cr(III) IONINING SORBSIYA KINETIKASI

Ismoilova Himoyat Matnazarovna

IIV Xorazm akademik litseyi dotsenti, PhD

ismoilovahimoat@gmail.com

Rajabov Elyor Baxtiyarovich

Nukus “Temurbeklar maktabi” o‘qituvchisi

elyor.rajabov@internet.ru

Atajanova Zeboxon Jumanazar qizi

Urganch davlat universiteti talabasi

zeboxonatajanova@gmail.com

ORCID 0009-0008-8181-5493

UDK.:546.302:544.3

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda tarkibida aminoguruh tutgan mahalliy sorbentga Cr(III) ionlarining sorbsiya kinetikasi o‘rganildi. Xrom (III) ionlari atrof-muhit uchun potensial xavf tug‘diruvchi og‘ir metallardan biri bo‘lib, ularni samarali usulda yo‘qotish muhim ahamiyat kasb etadi. Mahalliy xomashyodan olingan aminoguruhli sorbentlarning Cr(III) ionlariga nisbatan sorbsion xususiyatlari baholandi. Sorbsiya jarayonining kinetik modeli aniqlanib, fizikaviy-kimyoviy parametrlar tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari psevdο birinchi tartib va psevdο-ikkinchi tartibli kinetik modellar asosida baholandi. Olingan natijalar tarkibida amino guruh mavjud bo‘lgan sorbentlarning Cr(III) ionlarini samarali ajratib olish uchun istiqbolli ekanligini ko‘rsatdi. Ushbu tadqiqot natijalari suvni tozalash texnologiyalarida qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Cr(III) ionlari, sorbsiya kinetikasi, amino guruhli sorbent, adsorbsion jarayon, psevdο-birinchi tartibli kinetika, psevdο-ikkinchi tartibli kinetika, ion almashinish, polivinilxlorid.

ADSORPTION KINETICS OF Cr(III) IONS ON A LOCAL SORBENT CONTAINING AMINO GROUPS

Abstract. In this study, the sorption kinetics of Cr(III) ions on a local sorbent containing amino groups was investigated. Chromium (III) ions are one of the heavy metals that pose a potential environmental hazard, making their effective removal crucial. The sorption properties of amino-functionalized sorbents derived from local raw materials were evaluated in relation to Cr(III) ions. The kinetic model of the sorption process was determined, and physicochemical parameters were analyzed. The research findings were assessed based on pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models. The obtained results demonstrated that sorbents containing amino groups are promising for the efficient removal of Cr(III) ions. These research findings can be applied in water purification technologies.

Keywords: Cr(III) ions, sorption kinetics, amino group-containing sorbent, adsorption process, pseudo-first-order kinetics, pseudo-second-order kinetics, ion exchange, polyvinyl chloride.

Kirish. Bugungi kunda dunyoda ekologik jihatdan xavfsiz, tannarxi arzon, faol guruhlar modifikatsiyalab sintez qilinadigan, oqova suvlarni tozalashda qo‘llanishi qulay bo‘lgan sorbentlarni olish hamda ularni sanoatning turli texnologik jarayonlarida, metallurgiya, gidrometallurgiya, kimyo sanoatida, jumladan, oqova va yerusti suvlarini og‘ir metall ionlaridan tozalashda, rangli, nodir va kamyob metallarni murakkab eritmalar, texnologik aralashmalardan ajratib olish muhim va asosiy vazifalardan biridir[1]. Amino guruh tutgan sorbentlar odatda ion almashuvchi qatronlar, kation va anion almashuvchi materiallar yoki organik-polimer asosli sorbentlar bo‘lishi mumkin. Ular kimyoviy tarkibiga qarab turli xil gazlar, ionlar va organik moddalarni adsorbsiya qilish uchun ishlatiladi. Asosiy aminoguruhli sorbentlar: anion almashuvchi qatronlar – tarkibida birlamchi ($-NH_2$), ikkilamchi ($-NHR$), yoki uchlamchi ($-NR_2$) aminoguruhlar bo‘ladi. Kation almashuvchi qatronlar – tarkibida sulfon, karboksil guruhlar bilan birga aminoguruhlar bo‘lishi mumkin. Polimer asosli amino guruh tutgan sorbentlar polivinilxlorid, poliakrilat yoki polistiren asosli modifikatsiyalangan amino guruhli sorbentlar kiradi. Biopolimerlar (masalan, xitozan) – aminoguruhga ega bo‘lib, og‘ir metall ionlarini sorbsiya qilish xususiyatiga ega.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot uchun olingan sorbent polivinilxlorid (PVX) asosida modifikatsiyalangan ion almashinuv xususiyatlariga ega bo‘lgan maxsus polimer

materiallar bo'lib, kimyoviy va fizik ta'sirlarga nisbatan yuqori barqarorlikka egadir. Tarkibida ion almashinuvchi NH_2 tutuvchi turli xil ionlarni (katon yoki anionlarni) o'ziga singdirish va chiqarish qobiliyatiga ega bo'lgan faol guruhlar bilan modifikatsiyalanadi. Oqova suvlar tarkibidagi og'ir metall ionlarni sorbsiyalash xususiyatiga ega. Polivinilxlorid (PVX) asosida modifikatsiyalangan ionitlar yuqori samaradorlikka ega bo'lib, ularni ishlab chiqarish va qo'llash sohasi kengayib bormoqda. Ularning xususiyatlarini yanada yaxshilash uchun nanokompozitlar va gidrofil funksional guruhlar bilan birlashtirish ishlanmalari olib borilmoqda[2].

Sanoat miqyosida ion almashinuvchi materiallarni qo'llanilish sohasiga, texnologik jarayonlar va bajaradigan vazifasiga qarab turli fizik-kimyoviy xususiyatlarga ega bo'lishi talab qilinadi. Ion almashinuvchi materiallar gidrometallurgiya sanoatida kuchli agressiv muhitlarda qo'llaniladi, bunda ion almashinuvchi materiallar asosan yuqori kimyoviy va termik barqarorlik talab qilinadi. Quyidagi muhokamizda polivinilxlorid (PVX) asosidagi anion almashinuvchi materialning ayni muhim kimyoviy barqarorligi haqida ma'lumotlar keltiriladi [3].

Quyidagi tadqiqotda mahalliy xomashyolar asosida olingan tarkibida amin saqlovchi (PVX-A-N-1) anionitning ayrim fizik xossalari o'rganildi. Anionitning SAS qiymatiga modifikatsiyalanish jarayonidagi haroratning ta'siri, modifikatsiyalash jarayonining davomiyligiga bog'liqligi o'rganildi. Modifikatsiyalash uchun maqbul harorati $140-145^\circ\text{C}$ ekanligi tajriba sharoitida o'rganilgan[4]. Bunday ion almashinuvchi qatronlar texnologik suv tarkibidagi mavjud ionlarni tozalash uchun sanoat miqyosida eng keng tarqalgan va qulay usuli ionitlar ishtirokida ion almashinish usulidir. Ionitlar oqova suvlarni tuzsizlantirishda, qimmatbaho va rangli metallarni eritmalardan ajratib olishda, gidrometallurgiya sanoatida eritmalarni konsentratsiyalashda, farmatsevtika sohasida dorilarning analizi, analitik va bioorganik kimyolarda va boshqa juda ko'plab sohalarda qo'llaniladi. Hozirgi kunda sanoat korxonalarida tarkibida amino guruh saqlovchi polimerlardan AB-17, A-100 ba IA-1 kabi anionitlar ishlatiladi[5]. Ushbu ishda granullangan polivinilxlorid asosida olingan anion almashtirgichda kislotali eritmalardan Cr (VI) ionlarini sorbsiyalash jarayonining kinetikasi o'rganildi. Kinetik modellar va adsorbsiya mexanizmini baholash uchun psevdobirinchi va psevdodikkinchi tartibli reaksiyalar ishlatilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, adsorbsiya kinetikasi psevdodikkinchi tartibli modelga eng mos keladi. Olti valentli xrom ionlari holatida maksimal adsorbsiya qobiliyati $218,2 \text{ mg/g}$ ni tashkil etdi[6]. Statik sharoitlarda sun'iy eritmalardan mahalliy xomashyodan tarkibida amino va fosfit guruhlari bo'lgan anionit va poliamfolitlarga Zn(II) va Cr(III) ionlarining sorbsiyasi o'rganildi. Statik sharoitda sorbsiya jarayoniga ta'sir etuvchi omillar (vaqt, harorat, konsentratsiya) o'rganildi. Anionitlar va poliamfolitlardagi rux (II) va Cr (III) ionlarining yutilishining Langmur monomolekulyar adsorbsiya izotermalariga bo'ysunishi aniqlandi va Freundlich parametrlari hisoblab chiqildi[7].

Tadqiqot ishini bajarishda «t.u.t.» markali $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ reaktivlardan foydalanildi. Reaktivlar eritmaları ularning aniq tortimlarini ma'lum hajmdagi erituvchilarda eritib tayyorlandi. Xrom (III) xlorid kristallogidratdan $0,1 \text{ M}$ li 1000 ml eritmaları tayyorlandi. Xrom (III) xlorid tuzining $0,1 \text{ M}$ eritmasini suyultirish orqali, 8 xil konsentratsiyali: 0.001 , 0.0025 , 0.005 , 0.0075 , 0.01 , 0.025 , 0.05 , 0.075 M eritmalar tayyorlandi. 8 ta 50 ml li stakanga $0,2 \text{ g}$ dan ishchi holatdagi ionitlar analitik tarozida o'lchab solindi. Ularga tayyorlangan metall tuzli eritmalardan 50 ml dan stakanlarga solindi va xona haroratini aniqlab bir sutkaga sorbsiyaga qo'yildi. Sorbsiya jarayonlari borganligini eritma konsentratsiyalarining o'zgarishidan hisoblab topildi. Keyinchalik sorbsiya jarayonining haroratga bog'liqligi ham o'rganildi. Bunda eritmalarning harorati 30 , 40 , 50°C larda vaqtga bog'liqligi ham o'rganildi. Sorbsiyadan oldingi va keyingi eritmalarning konsentratsiyalari V-5000 spektrofotometr asbobi yordamida aniqlandi.

V-5000 spektrofotometri — bu ko'rinadigan yorug'lik diapazonida ishlaydigan, qo'lda to'lqin uzunligini sozlash imkonini beruvchi bir nurlik spektrofotometrdir. Ushbu asbob kundalik tahlillar va umumiy tajribalar uchun mo'ljallangan bo'lib, yuqori samaradorlik, keng

qo'llanilish doirasi va oson boshqaruv bilan ajralib turadi. To'lqin uzunligi diapazoni 325-1000 nm chiziqli difraksiya panjara oralig'ida ko'riladi. Optik yo'l uzunligi 10 mm bo'lgan 4 ta shisha kyuvetani o'z ichiga oladi.

Sorbsiyadan oldingi va keyingi eritma konsentratsiyalari farqidan sorbentga yutilgan metall ioni miqdori quyidagi tenglama orqali hisoblab topildi.

$$q_e = \frac{(C_o - C_p)}{m} \times V$$

Bunda: q_e – ionitga yutilgan metall ioni miqdori mol/g, C_o – metall ionlarining dastlabki konsentratsiya mol/l, C_p – metall ionlarining muvozanat konsentratsiyasi mol/l; V – eritma hajmi l; m – quruq sorbent massasi(g).

Natijalar va muhokama. Ionitlarga Cr(III) metall ionlarining sorbsiya kinetikasi tahlili o'rganildi. Bunda dastlab sorbsiyadan oldingi sun'iy eritmalarining konsentratsiyalari tekshirildi. Harorat 30°C da qo'yilgan eritmalarining konsentratsiyalari hisoblab chiqildi. Sorbsiya jarayoni dastlab 30-40 daqiqasida jadal rivojlab, sorbsiya muvozanati 6-7 soatlarda bo'lganligi kuzatildi. Harorat 40°C da sorbsiyaga qo'yilgan eritma konsentratsiyalari tekshirildi va sorbsiya muvozanati 7-7.5 soatlarda kuzatildi. Eng yuqori harorat 50°Cda sorbsiya jarayoni yuqori bo'lganligi konsentratsiyalarning farqidan va ionitga yutilgan metall miqdoridan ko'rishimiz mumkin.

Psevdo birinchi tartibli kinetik model sorbsiya joylarini egallash tezligi band bo'lmagan joylar soniga mutanosib bo'lishini nazarda tutadi. Psevdo-birinchi tartibli tenglamadan ifodalanildi[8, 9].

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t); \quad \log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t$$

Bu tenglamada: q_t va q_e ma'lum vaqtdagi va muvozanatdagi sorbentning metallarni sorbsiyalangan miqdori (mg/g^{-1}), k_1 -birinchi tartibli sorbsiya jarayoni tezligi (min^{-1}) bo'lib, $\log(q_e - q_t)$ va t vaqtga nisbatan tuzilgan chiziqli grafigida kesishish qiyaligining burchak qiymati - $k_1/2,303$ ga teng.

Psevdo ikkinchi tartib kinetik model 1995-yilda Xo ikki valentli metall ionlarining torfga adsorbsiyasining kinetik jarayonini birinchi bo'lib tasvirlab berdi, bunda ikki valentli metall ionlari sorbent tarkibidagi funksional guruhlar, masalan, aldegidlar, ketonlar, kislotalar va fenollar o'rtasidagi kimyoviy bog'lanish ion almashinuvi hosil bo'ldi[10].

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right)t$$

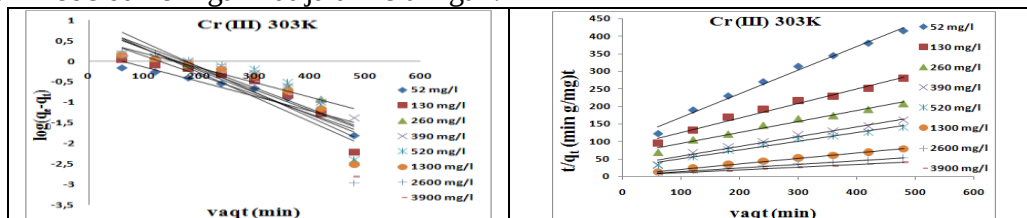
Dastlabki sorbsiya darajasi ($t=0$) quyidagicha topiladi $h = k_2 q_e^2$

Bu tenglamada k_2 tezlik konstantasi, q_e – ma'lum massali sorbentga yutilgan metall miqdori (mg/g^{-1}), t -vaqt (minut).

Sorbsiya jarayoniga ta'sir etuvchi omillar, ya'ni vaqtga, haroratga, konsentratsiyaga bog'liqligi o'rganildi. Metall ionlarini ionitlarga yutilish jarayoni psevdo birinchi tartibli va psevdo ikkinchi tartibli kinetik modellarda tahlil qilingan. Faollashtirilgan ionitlarning harorat 30, 40, 50°C larda sorbsiyaga qo'yilgan 0.001, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.025, 0.05, 0.075M konsentratsiyali eritmalarini sorbentga yutilgan metall ioni miqdorining psevdo birinchi tartibli va psevdo ikkinchi tartibli kinetik modelning vaqtga bog'liqlik grafigi keltirilgan. Cr(III) metall ionlarining ionitga sorbsiyalanish jarayoni kinetikasi keltirilgan rasmda, $\log(q_e - q_t)$ va t vaqtga nisbatan tuzilgan grafikdan psevdo birinchi tartibli va psevdo ikkinchi tartibli kinetik parametrlarini topish orqali baholandi. Sorbsiya natijalari ikkita model bo'yicha kinetik parametrlar tahlil qilindi va sorbsiya muvozanati, barcha haroratlarda 7-8 soatlarda kuzatilishi xulosa qilindi. Metall ionining ionitga yutilishi harorat ortishi bilan ortib borganligi, sorbsiya jarayoni kimyoviy bog'lar asosida borganligidan dalolat beradi.

Tadqiqot ishini Psevdo-birinchi tartibli kinetik model (Lagergren modeli) kam konsentratsiyali eritmalar uchun mos bo'lib, fizik adsorbsiyaga asoslangan ionlar yoki molekulalar sorbent yuzasida kuchsiz Van der Waals bog'lar orqali bog'langanligi, olingan natijalar tahlili nazariy hisoblashlar bilan tajribadagi hisoblashlar bir-biriga mos kelmaganligi kuzatildi. Bu modelda sorbsiya jarayoni boshlang'ich tezlik yuqori, lekin ma'lum vaqt o'tgach sekinlashadi.

Psevdo-ikkinchi tartibli kinetik model kimyoviy adsorbsiyaga asoslangan, ya'ni ionlar va sorbent o'rtasida kuchli kovalent yoki ion almashinish bog'lari hosil bo'ladi. Sorbsiya jarayoni nisbatan sekin boshlanadi, lekin vaqt o'tishi bilan barqaror bo'lib boradi. Yuqori konsentratsiyali eritmalar uchun mos – ayniqsa, og'ir metall ionlari sorbsiyasida yaxshi natija beradi. Dastlabki tezligi yuqori, ya'ni metall ionlari sorbent bilan tez bog'lanadi. Ko'pchilik hollarda og'ir metallarni sorbsiya qilishda psevdo-ikkinchi tartibli kinetika yaxshiroq mos keladi, chunki u kimyoviy adsorbsiyani yaxshi tavsiflaydi va metall ionlarini samarali ajratib olishga imkon beradi. Quyidagi grafiklardan olingan jadvaldagi natijalar faqat psevdo ikkinchi tartibli modeldan olingan natijalar keltirilgan.

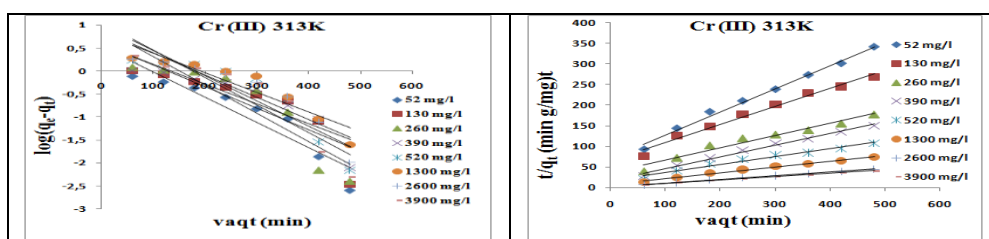


1-rasm. Psevdo birinchi va ikkinchi tartib kinetik model. 30°C

1-jadval

30°C da psevdo ikkinchi tartib kinetik modeldan olingan natijalar

C ₀ (g/l)	trend chizig'i	R ²	h	t/qe	q _e mg/g		k ₂
					Exs. nat	His. nat	
52	y = 0,675x + 100,5	R ² = 0,989	0,006	0,675	1,17	1,481	0,0045
130	y = 0,416x + 83,71	R ² = 0,981	0,004	0,416	1,71	2,403	0,0020
260	y = 0,314x + 62,12	R ² = 0,977	0,005	0,314	2,31	3,184	0,0015
390	y = 0,277x + 29,80	R ² = 0,978	0,0092	0,277	3,04	3,610	0,0025
520	y = 0,247x + 25,95	R ² = 0,974	0,0095	0,247	3,43	4,048	0,0023
1300	y = 0,155x + 5,564	R ² = 0,997	0,0278	0,155	6,05	6,451	0,0043
2600	y = 0,105x + 2,922	R ² = 0,998	0,0359	0,105	9,12	9,528	0,0037
3900	y = 0,081x + 1,908	R ² = 0,998	0,0426	0,081	10,6	12,34	0,0034

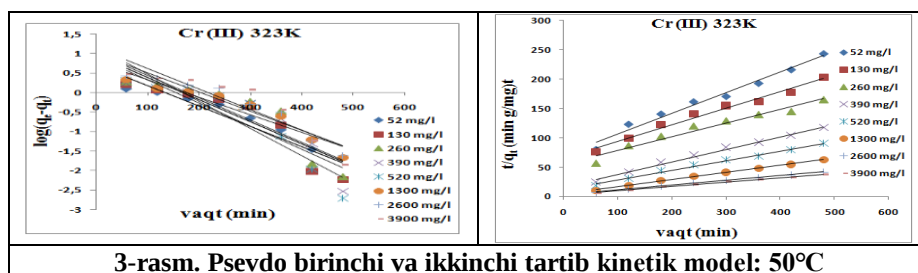


2-rasm. Psevdo birinchi va ikkinchi tartib kinetik model: 40°C

2-jadval

40°C da psevdo ikkinchi tartib kinetik modeldan olingan natijalar

C ₀ (g/l)	trend chizig'i	R ²	h	t/qe	q _e mg/g		k ₂
					Exs. nat	His. nat	
52	y = 0,563x + 71,34	R ² = 0,992	0,0078	0,563	1,404	1,776	0,004
130	y = 0,437x + 66,07	R ² = 0,982	0,0066	0,437	1,794	2,288	0,002
260	y = 0,297x + 37,10	R ² = 0,958	0,0080	0,297	2,704	3,367	0,002
390	y = 0,284x + 17,69	R ² = 0,989	0,0160	0,284	3,198	3,521	0,004
520	y = 0,190x + 18,09	R ² = 0,972	0,0105	0,19	4,472	5,263	0,001
1300	y = 0,141x + 7,587	R ² = 0,991	0,0186	0,141	6,5	7,092	0,002
2600	y = 0,089x + 2,308	R ² = 0,998	0,0385	0,089	10,66	11,23	0,003
3900	y = 0,082x + 1,904	R ² = 0,998	0,0430	0,082	11,7	12,19	0,003



3-rasm. Psevdo birinchi va ikkinchi tartib kinetik model: 50°C

3-jadval

50°C da psevdо ikkinchi tartib kinetik modeldan olingan natijalar

C ₀ (g/l)	trend chizig'i	R ²	h	t/qe	q _e mg/g		K ₂
					Exs. nat	His. nat	
52	y = 0,352x + 71,05	R ² = 0,979	0,0049	0,352	1,976	2,8409	0,001744
130	y = 0,280x + 66,43	R ² = 0,982	0,0042	0,28	2,366	3,5714	0,00118
260	y = 0,231x + 55,73	R ² = 0,957	0,0041	0,231	2,912	4,3290	0,000957
390	y = 0,211x + 16,97	R ² = 0,991	0,0124	0,211	4,108	4,7393	0,002624
520	y = 0,165x + 11,34	R ² = 0,992	0,0145	0,165	5,304	6,0606	0,002401
1300	y = 0,121x + 4,467	R ² = 0,998	0,0271	0,121	7,722	8,2644	0,003278
2600	y = 0,081x + 3,078	R ² = 0,997	0,0263	0,081	11,44	12,345	0,002132
3900	y = 0,073x + 2,841	R ² = 0,995	0,0257	0,073	12,74	13,698	0,001876

Jadvalda keltirilgan natijalardan shuni xulosa qilish mumkinki, konsentratsiya va haroratning o'tishi bilan sorbsiya jarayoni ortib borganligini hamda barcha konsentratsiyalarda sorbsiya muvozanati 7-8 soatlarda bo'lganligi kuzatildi. Ionitlarga metall ionlarning yutilishi olingan tadqiqot natijalardan va jadvaldagi ma'lumotlarni tahlilidan psevdо ikkinchi tartibli kinetik modelga bo'ysunganidan dalolat beradi.

Xulosa va takliflar. Ushbu tadqiqot ishida bir nechta adabiyotdan olingan eksperimental ma'lumotlardan foydalanib Cr(III) ionlarining ionitlarga sorbsiyalanish metodikasi tuzib chiqildi va o'rganildi. Ionitlarga Cr(III) metall ionlarining sorbsiya kinetikasi 30, 40, 50°C haroratlarda, 0.001, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.025, 0.05, 0.075M konsentratsiyalarning sorbsiya jarayonini bog'liqligi o'rganildi. Bunda eritma harorati va konsentratsiyaning ortishi bilan ionitlarga metall ionlarining yutilishi ortib borganligi kuzatildi. Suyuqlik adsorbsiya kinetikasiga oid hozirgi adabiyotlardagi aksariyat asarlarda ma'lumotlarni tavsiflash uchun psevdо-birinchi tartib va psevdо ikkinchi tartib kinetik modellarning tegishli qobiliyatlari solishtiriladi. Deyarli barcha holatlarda, psevdо ikkinchi tartib kinetik model birinchi tartib kinetik modeldan ustun turadi, degan xulosaga keladi. Ushbu tadqiqot ishida ham suyuqliklarda metall ionlarining sorbsiyalanishi psevdо ikkinchi tartibga ko'proq to'g'ri kelishini tahlil qildik. Ionitlarga Cr(III) metall ionlari sorbsiyasini psevdо birinchi tartibli va psevdо ikkinchi tartibli kinetik modellar tahlil qilingan va grafiklardan olingan jadvaldagi natijalardan shuni xulosa qilish mumkinki, sorbsiya jarayoni psevdо ikkinchi tartib kinetik modelga ko'proq bo'ysunganidan dalolat beradi. Taklifimiz shuki, O'zbekistonda mavjud barcha mahalliy sorbent turlarini aniqlash va o'rganish. Ularning amino guruhlar bilan modifikatsiyalangan variantlarini sintez qilish va sorbsion xossalari tavsiflash. Sorbsiya jarayonlarini tahlil qilishda ko'proq ma'lumot beradigan kinetik modellardan foydalanishni tavsiya qilamiz.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Шарипов Х.Т., Даминова Ш.Ш., Кадилова З.Ч., Хужамбердиев М. Исследование процесса сорбции ионов цинка N,P,S-содержащими импрегнированными сорбентами // Композиционные материалы. - 2017. - №3. - С. 57-60.
2. Бекчанов Д. Ж., Мухамедиев М. Г. Сорбция ионов никеля(II) сорбентом с азот – и фосфорникислыми группами на основе поливинилхлорида. - Журнал «Вестник Национального университета Узбекистана» 2015 г. № 2. - С. 23-29.

3. Babojonova G.K., Sobirova F.A., Baltayeva K.Sh. Polivinilxlorid asosida olingan anion almashinuvchi materiallarning kimyoviy barqarorligi // Alfraganus xalqaro ilmiy jurnal. 2022. 17-21 b.
4. Qutlimuratov N.M., Tursunmuratov O.X., Bekchanov D.J. Polivinilxlorid plastikati asosidagi anionitning fizik-kimyoviy xossalari // Ilmiy axborotnoma. 2020-yil, 5-son (123). 24-26 b.
5. Кац Э.М., Никашина В.А., Бычкова Я.В. Сорбция тяжелых металлов Ni, Cd, Cr, Zn, Cu из поверхностной воды на природном и модифицированном клиноптилолитах // Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. Вып. 6. – С. 808–815.
6. Бабожонова Гулбахор Курбанназаровна, Инханова Арофат, Сагдиев Наил Джадитович, Бекчанов Давронбек Жумазаарович, Мухамедиев Мухтаржан Ганиевич. Кинетика сорбции ионов Cr (VI) из кислых растворов на анионообменника // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2021. 6(84).
7. Исмоилова Химоят Матназаровна, Бекчанов Давронбек Жумазаарович, Хасанов Шодлик Бекпулатович, Матмуратова Феруза Курбонбоевна. Сорбция ионов Zn(II) и Cr(III) на аниониты и полиамфолиты, полученные на основе местного сырья // Universum: Химия и биология : электрон. научн. Журн. 2019. № 12(66).
8. Jean-Pierre Simonin. On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics // Chemical Engineering Journal. 2016. Vol 300. -pp. 254-263.
9. Y.S. Ho, G. McKay. Pseudo-second order model for sorption processes// Process Biochemistry. 1999. N 34. -pp. 451–465.
10. Jey C. Bullen, Sarawud Saleesongsom, Kerri Gallager, Dominik J. Vayss. A Revised Pseudo-Second-Order Kinetic Model for Adsorption, Sensitive to Changes in Adsorbate and Adsorbent Concentrations// Langmuir Vol 37/Issue 10 March 4, 2021.

KVANT O‘RALI YARIMO‘TKAZGICHLARNING TA‘QIQLANGAN ZONA KENGLIGIGA DEFORMATSIYANING TA‘SIRI

Ulug‘bek Erkaboyev

Namangan davlar texnika universiteti, professor

Muzaffar Dadamirzayev

Namangan davlar texnika universiteti, katta o‘qituvchi

Nozimjon Sayidov

Namangan davlar texnika universiteti, dotsent

Qudratali Temirov

Namangan davlar texnika universiteti, o‘qituvchi

sayidovnozimjon@gmail.com

ORCID 0000-0001-9382-8779

UDK 621.315.592; 537.311.322

Annotatsiya. Hozirgi kunda kvant o‘lchamli yarimo‘tkazgichli materiallarni elektron, optik va magnit xususiyatlari bo‘yicha turli o‘lcham va tuzilish geometriyasini hamda ushbu yarimo‘tkazgichlarga deformatsiya, harorat va hajmiy bosimlarning ta‘sirini ko‘plab olimlar tomonidan muntazam ravishda o‘rganib borilmoqda. Nanostrukturali yarimo‘tkazgichlarning asosiy xususiyatlaridan biri shundaki, ushbu materiallarning kimyoviy, fizik, issiqlik, elektr, optik va magnit xossalari keskin o‘zgarishi uchun turli konsentratsiyali kirishmalar bilan qo‘llanilishidan kuzatish mumkin. Bundan tashqari, kvant o‘raning taqiqlangan zona kengligida yangi energetik sathlarni (kirishmali sathlar) hosil bo‘lishini kuzatish mumkin. Shundan kelib chiqib, kirishmalar – kvant o‘rali yarimo‘tkazgichli strukturalarning optoelektronik xususiyatlarini sozlash uchun ishlatilishidan darak beradi. Ushbu ishda kvant o‘rali yarimo‘tkazgichlardagi elektronlar va kovaklarning Landau sathlariga deformatsiyaning ta‘siri ko‘rib chiqilgan. Kvadratik dispersiya qonuniga bo‘ysinuvchi kichik o‘lchamli yarimo‘tkazgichlarda kvant ossilyatsiya effektlarining haroratga bog‘liqligiga deformatsiyaning ta‘siri tatbiq etilgan.

Kalit so‘zlar: Kvant o‘ra, taqiqlangan zona, deformatsiya, nanostrukturali yarimo‘tkazgich, kvant o‘lcham, optik va magnit xossa, geterostruktura, gidrostatik bosim, kirishmali sathlar, magnit maydon.

EFFECT OF DEFORMATION ON THE FORBIDDEN BAND WIDTH OF QUANTUM-WALL SEMICONDUCTORS

Abstract. Currently, the electronic, optical, and magnetic properties of quantum-sized semiconductor materials are being regularly studied by numerous scientists, focusing on various sizes and structural geometries, as well as the effects of deformation, temperature, and bulk pressure on these semiconductors. One of the key characteristics of nanostructured semiconductors is that the chemical, physical, thermal, electrical, optical, and magnetic properties of these materials can be dramatically altered by the application of impurities at varying concentrations. Furthermore, the formation of new energy levels

(impurity levels) in the forbidden zone width of the quantum well can be observed. Based on this, impurities indicate the possibility of using quantum well semiconductor structures to tune optoelectronic properties. This work examines the effect of deformation on the Landau levels of electrons and holes in quantum well semiconductors. The effect of deformation on the temperature dependence of quantum oscillation effects in small-sized semiconductors obeying the quadratic dispersion law is also applied.

Keywords: Quantum well, forbidden zone, deformation, nanostructured semiconductor, quantum size, optical and magnetic properties, heterostructure, hydrostatic pressure, impurity levels, magnetic field.

Kirish. Kvant o'lchamli yarimo'tkazgichli materiallarni elektron, optik va magnit xususiyatlari bo'yicha turli o'lcham va tuzilish geometriyasini hamda ushbu yarimo'tkazgichlarga deformatsiya, harorat va hajmiy bosimlarning ta'sirlarini ko'plab olimlar tomonidan muntazam ravishda o'rganib borilmoqda. Nanostrukturali yarimo'tkazgichlarning asosiy xususiyatlaridan biri shundaki, ushbu materiallarning fizik, issiqlik, elektr, optik va magnit xossalarning keskin o'zgarishi uchun turli konsentratsiyali kirishmalar bilan qo'llanilishidan kuzatish mumkin [1]. Ya'ni, kirishmalar kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning energetik zona tuzilishini tubdan o'zgartiradi, buni esa kvant o'raning elektron, optik va magnit xususiyatlarini o'zgarishidan sezish mumkin. Bundan tashqari, kvant o'raning taqiqlangan zona kengligida yangi energetik sathlarni (kirishmali sathlar) hosil bo'lishini kuzatish mumkin. Shundan kelib chiqib, kirishmalar – kvant o'rali yarimo'tkazgichli strukturalarning optoelektronik xususiyatlarini sozlash uchun ishlatilishidan darak beradi [2-3]. Shu bilan birga, kirishmani bog'lanish energiyasini boshqarish, kvant o'lchamli geterostrukturali materiallarning barqarorligi va chidamliligini ta'minlash uchun muhim hisoblanadi. Xulosa qilib aytish mumkinki, kirishmali kvant strukturali materiallarni tashqi omillarga (gidrostatik bosim, deformatsiya, magnit maydonlar) moyilligidan (chidamliligidan) bunday materiallarni o'rganish ham nazariy, ham amaliy jihatdan dolzarb ekanligini ko'rsatadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Kvant o'rali materiallarning asosiy parametrlariga deformatsiya ta'siri nazariy ko'rib chiqilgan. Gamiltoniyan tenglamasini kvant o'raning ruxsat etilgan zonasiga hajmiy deformatsiya va magnit maydon ta'sirini effektiv massa yaqinlashuvi orqali $H(T, \varepsilon)$ funksiyasi sifatida quyidagicha yozish mumkin [1]:

$$H = \frac{1}{2m^*(\varepsilon, T)} \left[\vec{p} + \frac{e}{c} \vec{A}(\vec{r}) \right]^2 + V(z, \varepsilon, T) - \frac{e^2}{\varepsilon^*(\varepsilon, T)r} \quad (1)$$

bu yerda, $\vec{p}$ - elektronning impulsi, $\vec{A}(\vec{r})$ - magnit maydonning vektor potentsiali, bu magnit maydon o'sish yo'nalishiga (z -yo'nalish) perpendikulyar qo'llaniladi, ya'ni magnit maydon va vektor potentsiali $\vec{B} = (B, 0, 0)$ va $\vec{A} = (0, B_z, 0)$ ko'rinishlarga ega, c – yorug'lik tezligi.

Effektiv massa $m^*(\varepsilon, T)$ va dielektrik doimiysi $\varepsilon^*(\varepsilon, T)$ funksiyalari XOY tekislikdagi elektron va donor kirishmalar orasidagi masofa $r = \sqrt{\rho^2 + (z - z_i)^2}$ orqali ifodalanadi. Bunda, $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ ga teng. z va z_i esa, elektron va donorlarning koordinatalaridir. Zaryadli zarralar uchun deformatsiya va haroratga bog'liq effektiv massa [4-6] ishlardagi olimlar tomonidan quyidagi topilgan:

$$m^*(\varepsilon, T) = \frac{m_0}{1 + E_p^F \left[\frac{2}{E_g^F(\varepsilon, T)} + \frac{1}{E_g^F(\varepsilon, T) + \Delta_0} \right]} \quad (2)$$

Bu yerda, m_0 -erkin elektron massasi, $E_p^F = 7.51 \text{ eV}$, $T=0$ uchun impuls matritsasi elementi bilan bog'liq energiya, Δ_0 - spin-orbitaning bo'linishi va $E_p^F(\varepsilon, T)$, Γ -eV birliklarida kvant o'ra uchun deformatsiya va haroratga bog'liq energiya zonasi, bu [7-8] ishlardagi olimlar tomonidan topilgan:

$$E_p^F(\varepsilon, T) = E_p^F(0, T) + 1.26 \cdot 10^{-2} \varepsilon - 3.77 \cdot 10^{-5} \varepsilon^2 \quad (3)$$

bu yerda, $E_p^F(0, T) = 1.519 - (5.405 \cdot 10^{-4} T^2) / (T + 204) \text{ eV}$

Deformatsiya va harorat (K), statik dielektrik doimiysiga bog'liq [7-8].

$$\varepsilon^*(\varepsilon, T) = \begin{cases} (i) 12.74e^{-1.7 \cdot 10^{-3} \varepsilon} e^{9.4 \cdot 10^{-5} (T-75.6)}; & T < 200 \text{ K uchun} \\ (ii) 13.18e^{-1.7 \cdot 10^{-3} \varepsilon} e^{20.4 \cdot 10^{-5} (T-300)}; & T \geq 200 \text{ K uchun} \end{cases} \quad (4)$$

Lekin ushbu olingan formulalarda kvant o'raning energetik holatlar zichligini deformatsiya va magnit maydonga bog'liqligi ko'rib chiqilmagan.

Natijalar va muhokama. Maqolada deformatsiya ta'siridagi zaryadli zarralar energetik spektrlarining o'zgarishi ko'rib chiqildi. Ushbu energetik spektrlarni o'zgarishiga bog'liq bo'lgan bir qator fizik effektlardan biri siklotron chastotasidir. Siklotron chastota zaryadli zarralarning Landau sathlarining energiyasiga bog'liq bo'lgan kattalik: $E_N = \hbar \omega_c \left(N_L + \frac{1}{2} \right)$. Ya'ni, siklotron chastotasi kuchli magnit maydondagi

elektronlarning spektri bilan ifodalanadi. Ushbu spektrni hisoblash uchun kvantlovchi magnit maydondagi Shredinger tenglamasini yechish kerak.

$$(H(K) + H_S - E)F = 0 \quad (5)$$

bu yerda, $K = k + \frac{e}{c\hbar} A$ - to'la impuls, $H = \text{rot} A$; F -effektiv massa yaqinlashuvdagi to'lqin funksiyasi [9].

Effektiv massa yaqinlashuvi bo'yicha (5) Shredinger tenglamasidagi $H(K)$ ifodani K bo'yicha kvadratik hadlar bilan cheklanishi yetarli va shu bilan birga g - faktorni K ga bog'liqligini hisobga olish shart emas. Bundan tashqari, (5) dagi yaqinlashuvda siklotron chastota barcha zaryadli zarralar uchun bir xil bo'ladi, bu esa spin ta'sirini hisobga olmaslik mumkinligini ko'rsatadi. U holda, (5) Shredinger tenglama effektiv massa tenzorini asosiy koordinata o'qlarida quyidagi ifodaga keladi:

$$\left(\sum_i \frac{\hbar^2}{2m_i} K_i^2 - E \right) F = 0 \quad (6)$$

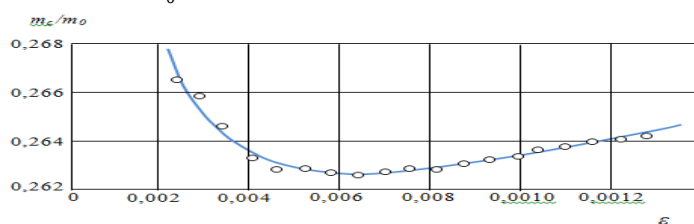
(6) ifodani kvant o'ra uchun tatbiq etib yechimi topilsa, u holda E_N quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$E_N = \hbar \omega_c \left(N + \frac{1}{2} \right) + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2md^2} n_z^2 \quad (7)$$

bu yerda,

$$\omega_c = \frac{eB}{m^*} \text{ ga teng} \quad (8)$$

[10] ishlardan ma'lumki, siklotron effektiv massa deformatsiyaga bog'liq ravishda o'zgaradi. Masalan, [10] da $\frac{m_c^*}{m_0}(\varepsilon)$ funksiyani grafigi keltirilgan (1-rasm).



1-Rasm. p-tip kremniyning siklotron massasini deformatsiyaga bog'liqligi [10]

Ushbu rasmda p-tipli germaniyning $\frac{m_c^*}{m_0}(\varepsilon)$ bog'liqligi tasvirlangan. Bu rasmdan ko'rinib turibdiki, $\frac{m_c^*}{m_0}(\varepsilon)$ katta deformatsiyalarda deformatsiyaga (ε) chiziqli bog'liqdir.

Ushbu rasmdan ko'rinib turibdiki, kvant o'radagi ruxsat etilgan zonalarini Landau sathlariga katta deformatsiya sezilarli ravishda ta'sir etadi.

Yangi turdagi hajmiy va kvant o'ra asosidagi yarimo'tkazgichlarda kvant ossillyatsiya effektlariga bosim, deformatsiya va haroratlarning ta'sirini o'rganish uchun turli xil tajribalar sinovlardan o'tkazilmoqda hamda yangi ilmiy-amaliy natijalar

olinmoqda. Chunonchi, energetik holatlar zichligining ossillyatsiya jarayonlari barcha kvant effektlarini ossillyatsiyalanishlariga olib kelishi ushbu [11-15] ishlarda keltirib o'tilgan. [15-18] ishlarda hajmiy va nanostrukturali yarimo'tkazgichlarning magnitoqarshilik, magnit singdiruvchanlik va kvant Xoll effekti ossillyatsiyalarini haroratga bog'liqligini yangi modeli taklif etilgan. Bunda, magnitoqarshilik va magnit singdiruvchanlik ossilyasiyalarining haroratga bog'liqligini diskret Landau sathlarini termik kengayishini hisobga olgan holda nazariy mexanizmlari ishlab chiqilgan. Ammo ushbu ishlarda energetik holatlar zichligi, magnitoqarshilik va magnit singdiruvchanlik ossillyatsiyalarini parabolik dispersiya qonunlari uchun deformatsiyaga bog'liqligi umuman ko'rib chiqilmagan.

To'g'ri burchakli kvant o'raning o'tkazuvchanlik zonasidagi Landau sathlariga harorat va deformatsiyaning ta'sirini parabolik dispersiya qonuni uchun ko'rib chiqaylik. Bunda, magnit maydon induksiya Z o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lib, kvant o'raning qalinligiga parallel, XOY tekisligiga tik yo'nalgandir. Zaryad tashuvchilarning energetik spektri bo'yicha sanoq boshini kvant o'raning valentlik zonasi shipini tanlab olaylik. U holda, erkin elektronlar va kovaklar uchun kvantlovchi magnit maydon ta'siridagi energetik spektrlari quyidagi formulalar orqali hisoblanadi:

$$E_c^{2d}(B, N_L, n_z, d) = E_g^{2d} + (N_L + \frac{1}{2})\hbar\omega_c + \frac{\pi^2\hbar^2}{2m_c d^2} n_z^2 \quad (9)$$

$$E_v^{2d}(B, N_L, n_z, d) = -\left((N_L + \frac{1}{2})\hbar\omega_v + \frac{\pi^2\hbar^2}{2m_p d^2} n_z^2 \right) \quad (10)$$

Kvadratlik dispersiya qonuni uchun:

$$E = \hbar^2 k^2 / 2m, \text{ unda } S = \pi k_{\perp}^2 = \pi(k^2 - k_z^2),$$

$$m_c = \frac{\hbar^2}{2\pi} \frac{\partial S}{\partial E} = m. \quad (11)$$

Maqolada kvant o'rali geterostrukturaning parabolik dispersiya qonuni uchun energetik holatlar zichligining haroratga bog'liqligi $N_s^{2d}(E, B, T, d)$ formulasi keltirilgan. U holda, (9) shartga asosan quyidagicha yozish mumkin:

$$N_s^{2d}(E, B, T, d) = \sum_{N_L, n_z} \frac{eB}{\pi\hbar} \cdot \frac{1}{kT} \cdot \exp \left[-\frac{\left(E - \left(E_g^{2d} + \left(N_L + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega_c + \frac{\pi^2\hbar^2}{2m_c d^2} n_z^2 \right) \right)^2}{(kT)^2} \right] \quad (12)$$

(12) formulaning farqi shundan iboratki, N_s^{2d} ikki o'lchamli holatlar zichligi kvant o'raning taqiqlangan zona kengligiga bog'liq bo'lmoqda.

Xulosa. Kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan zona kengligiga deformatsiyaning ta'siri nafaqat fundamental ilmiy ahamiyatga ega, balki amaliy nuqtayi nazardan ham keng imkoniyatlar ochib beruvchi muhim hodisadir. Kvant o'ralari, o'lchamlari atomlararo masofalarga yaqin bo'lgan yarimo'tkazgichli geterostrukturalar bo'lib, ularda elektronlar va kovaklar fazoviy jihatdan cheklangan harakatlanadi. Bunday cheklanish kvant effektlarining namoyon bo'lishiga olib keladi va materialning elektron va optik xususiyatlarini keskin o'zgartiradi. Deformatsiya, tashqi kuch ta'sirida kristall panjarada yuzaga keladigan mexanik zo'riqish bo'lib, yarimo'tkazgichning elektron tuzilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Deformatsiya taqiqlangan zona kengligini, effektiv massa va energiya sathlarining holatini o'zgartirishi mumkin. Bu xususiyat materialning optoelektronik xususiyatlarini moslash uchun qo'llanilishi mumkin, masalan, yorug'likni yutish spektrini siljitish yoki yorug'lik chiqarish samaradorligini oshirish. Siqish deformatsiyasi, odatda, taqiqlangan zona kengligini oshiradi, bu esa materialning ko'k tomonga siljishiga olib keladi (ya'ni, yuqori energiyali yorug'likni yutadi yoki chiqaradi). Cho'zish deformatsiyasi, aksincha, ta'qiqlangan zona kengligini kamaytiradi va qizil tomonga siljishiga olib keladi (ya'ni, past energiyali yorug'likni yutadi yoki chiqaradi).

Deformatsiyaning ta'siri materialning kristall tuzilishi, deformatsiya yo'nalishi va

miqdori kabi omillarga bog'liq. Kvant o'lchamlari tufayli kvant o'ralarida deformatsiyaning ta'siri ancha kuchliroq bo'ladi. Elektronlar va kovaklarning harakati cheklanganligi sababli, deformatsiya ularning energiya sathlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu esa, kvant o'rali qurilmalarining sezgirligini oshirish va ularning xususiyatlarini aniqroq sozlash imkoniyatini yaratadi.

Shunday qilib, kvant o'rali yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan zona kengligiga deformatsiyaning ta'siri nafaqat fundamental fizik hodisa, balki yuqori texnologik qurilmalar yaratishda qo'llaniladigan muhim vositadir. Bu sohada olib borilayotgan tadqiqotlar yangi avlod elektron va optoelektronik qurilmalar yaratishga olib kelishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kasapoglu E., Effects of the magnetic field, hydrostatic pressure and temperature on binding energies and optical absorption of states with donor impurity in different type quantum wells // *Optical and Quantum Electronics*. 2025. Vol.57. pp.08000-3-08000-17. <https://doi.org/10.1007/s11082-024-08000-3>
2. Burgess, T., Saxena, D., Mokkapat, S., Li, Z., Hall, R.C., Davis, J.A., Wang, Y., Smith, L.M., Fu, L., Carof, P., Tan, H.H., Jagadish, C., Doping-enhanced radiative efficiency enables lasing in unpassivated GaAs nanowires // *Nat. Commun.* 2016. Vol.7., pp.11927-11933. <https://doi.org/10.1038/ncomms11927>.
3. Luo, D., Wang, L., Qiu, Y., Huang, R., Liu, B., Emergence of impurity-doped nanocrystal light-emitting diodes // *Nanomaterials*. 2020. Vol.24., pp.1226-1265. <https://doi.org/10.3390/nano10061226>
4. Sali, A., Satori, H., The combined effect of pressure and temperature on the impurity binding energy in a cubic quantum dot using the FEM simulation // *Superlattices Microstruct.* 2014. Vol.69., pp.38-52. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2014.01.011>
5. El-Bakkari K., Sali A., Iqraoun E., Rezzouk A., Es-Sbai N., Jamil M.O. Effects of the temperature and pressure on the electronic and optical properties of an exciton in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs quantum ring // *Physica B*. 2018. Vol.538., pp.85-94.
6. Ehrenreich H., Band structure and transport properties of some 3-5 compounds. // *J. Appl. Phys.* 1961. Vol.32., pp. 2155- 2166. <https://doi.org/10.1063/1.1777035>
7. Kasapoglu E., Sari H., Sökmen I. Effects of magnetic and electric fields on the hydrogenic impurity in an ellipsoidal parabolic quantum dot // *Surf. Rev. Lett.* 2008. Vol.15., pp.201-205. <https://doi.org/10.1142/S0218625X08010440>
8. Welber B., Cardona M., Kim C.K., Rodriguez S. Dependence of the direct energy gap of GaAs on hydrostatic pressure // *Phys. Rev. B*. 1975. Vol.12., pp.5729-5738. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.12.5729>
9. Бир Г.Л., Пикус Г.Е. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. Москва. Наука. 1972. с.449-463.
10. Hensel J. C. and Feher G., Cyclotron Resonance Experiments in Uniaxially Stressed Silicon: Valence Band Inverse Mass Parameters and Defocusation Potentials // *Phys. Rev.* Vol.129. pp.1041-1066.
11. Herrero C.P., Ramirez R. Quantum effects in two-dimensional silicon carbide // *Journal of Physics and chemistry of Solids*. 2022. Vol.171, pp.1100980-1-1100980-10. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2022.110980>
12. Gudina S.V., Bogoliubskii A.S., Klepikova A.S., Neverov V.N., Turutkin K.V., Podgorniykh S.M., Shelushinina N.G., Yakunin M.V., Mikhailov N.N., Dvoretzky S.A. Anomalous phase shift of magneto-oscillations in HgTe quantum wells with inverted band structure: Quantum Hall effect and the large-scale impurity potential // *Low Temperature Physics*. 2019. Vol.45, Iss.4, pp.412-418. <https://doi.org/10.1063/1.5093521>
13. Litvinov V.I., Dugaev V.K., Volkov V.L., Oszwaldowski M. Deformation potentials in narrow-gap quantum wells // *Inorganic Materials*. 1997. Vol. 33, No. 2, pp. 203-207.
14. Neifeld É.A., Demchuk K.M., Kharus G.I., Bubnova A.É., Domanskaya L.I., Shtrapein G.D., Paranchich S.Yu. Shubnikov-de Haas oscillations in HgSe/Fe (and HgSe/Co) under hydrostatic pressure // *Semiconductors. USA*. 1997. –Vol. 31, Iss.3. –P.261-264. <https://doi.org/10.1134/1.1187122>
15. Gulyamov G., Erkaboev U.I., Sharibaev N.Yu. The de Haas-van Alphen effect at high temperatures and low magnetic fields in semiconductors // *Modern phys. Lett. B. Singapore*. 2016. Vol. 30. No.7. P. 1-7. <https://doi.org/10.1142/S0217984916500779>
16. Erkaboev U.I., Rakhimov R.G., Mirzaev J.I., Sayidov N.A., Negmatov U.M., Mashrapov A. Determination of the band gap of heterostructural materials with quantum wells at strong magnetic field and high temperature // *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol.2789, Iss.1, pp.040056-1-040056-7. <https://doi.org/10.1063/5.0145556>
17. Gulyamov G., Erkaboev U.I., Rakhimov R.G., Mirzaev J.I., Sayidov N.A. Determination of the dependence of the two-dimensional combined density of states on external factors in quantum-dimensional heterostructures // *Modern Physics Letters B*. 2023. Vol.37, No.10, pp.2350015-1-2350015-14.

18. Erkaboev U.I., Rakhimov R.G., Mirzaev J.I., Negmatov U.M., Sayidov N.A. Influence of a magnetic field and temperature on the oscillations of the combined density of states in two-dimensional semiconductor materials // *Indian Journal of Physics*. 2024. Vol.98, pp.189-197. <https://doi.org/10.1142/S021798492350015X>

19. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках. Энергетический спектр и динамика // Издательство «Наука» Главная редакция физико - математической литературы. - М., 1972. - С.441-442. 640 С.

KO'P O'LCHOVLI FAZODA MANBA VA CHIZIQSIZ CHEGARAVIY SHARTL BILAN BERILGAN ISSIQLIK O'TKAZISH MASALASINING AVTOMODEL YECHIMINING ASIMPTOTIKALARI

Raxmonov Zafar Ravshanovich

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti dotsenti

z.rahmonov@nuu.uz

Yarmetova Dilafro'z Ibodulla qizi

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti tadqiqotchisi

yarmetova_d@nuu.uz

ORCID 0009-0003-5113-7349

UDK 517.957

Annotatsiya. Ushbu maqolada ko'p o'lchovli fazoda manba va chiziqli bo'lmagan chegaraviy shart bilan berilgan issiqlik o'tkazuvchanlik masalasining avtomodel yechimlarining asimptotikalari o'rganiladi. Bir nechta teoremlardan foydalanib, ko'p o'lchovli fazoda manba va chiziqli bo'lmagan chegaraviy shart bilan berilgan issiqlik o'tkazish masalasi parametrlari uchun turli xil vaziyatlarda asimptotik barqarorlik va shartlar keltirilgan hamda isbotlangan. Bundan tashqari maqolada qo'shimcha manba va chiziqli chegaraviy shartlar bilan berilgan issiqlik o'tkazish masalasining bir o'lchovli fazodagi avtomodel yechim barqarorlik shartlari ham aytib o'tilgan. Chekli vaqtda yechimning cheksiz bo'lish, ya'ni buzilish holatiga olib keluvchi, yechimning lokallashuvini ifodalaydigan parametrlar ko'rsatilgan. Sonli tahlilda foydalaniladigan iteratsion jarayonning eng yaqin boshlang'ich yaqinlashish masalasi yechilgan.

Kalit so'zlar: Avtomodel tenglama, blow-up, chiziqli tenglama, issiqlik o'tkazish masalasi, yechim asimptotikalari.

ASYMPTOTIC BEHAVIOR OF SELF-SIMILAR SOLUTIONS OF THE HEAT CONDUCTION PROBLEM WITH A SOURCE AND A NONLINEAR BOUNDARY CONDITION IN MULTIDIMENSIONAL SPACE.

Abstract. In this article, asymptotic behavior of self-similar solutions of the heat conduction problem with a source and a nonlinear boundary condition in multidimensional space are investigated. Using several theorems, asymptotic stability and conditions for the parameters for the heat conduction problem with a source and a nonlinear boundary condition in multidimensional space proved. In addition, the article also discusses the stability conditions for the self-similar solution in one-dimensional space of the heat transfer problem given by an additional source and nonlinear boundary conditions. It is shown that there exist some parameter values for which the effect of finite velocity of perturbation of distribution (FSPD), localization of solution, onside localization can occur. The problem for choosing the appropriate initial approximation for the iteration process used in numerical analysis is solved.

Keywords: Self-similar equation, blow-up, nonlinear equation, heat conduction problem, asymptotic of solution

Introduction. Consider the following problem for a parabolic equation

$$\rho_1(x)u_t = \nabla \left(\rho_2(x) |\nabla u^m|^{k-2} \nabla u^m \right) + \rho_3(x)u^\beta, \quad x \in R_+^N, \quad t > 0, \quad (1)$$

with nonlinear boundary flow and initial condition

$$-\rho_2(x) |\nabla u^m|^{k-2} \frac{\partial u^m}{\partial x_1} = u^q, \quad x_1 = 0, \quad t > 0, \quad (2)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad (3)$$

where $R_+^N = \{(x_1, x') \mid x' \in R^{N-1}, x_1 > 0\}$ $m > 1$, $k > 1 + 1/m$, $\beta, q > 0$. given real numbers, $N \geq 1$ – size of space, $\rho_i = |x|^{n_i}$, $i = \overline{1, 3}$ variable density, u^β – source or absorption and $u_0(x)$ – bounded, continuous, non-negative function. $u = u(t, x) \geq 0$ –

the desired solution.

Literature review. Equation (1) is encountered in various fields of natural science [1]. In particular, it can be considered as a model of heat propagation with a nonlinear thermal conductivity coefficient dependent on the gradient encountered in a chemical reaction [2, 3, 4]. In addition, equation (1) arises in the mathematical modeling of diffusion in nonlinear media, in the study of problems of fluid flow through porous layers, in problems of the dynamics of biological populations, polytrophic filtration, the formation of structures in synergetic and in a number of other fields [5, 6].

Since many physical, chemical, and biological processes are expressed by nonlinear parabolic equations, many scientists have studied this process. In particular, many articles [12-14] are devoted to the study of nonlinear boundary conditions and the Cauchy problem. In recent years, in Uzbekistan, M.M.Aripov [11,18], A.S.Matyakubov [11,15], A.Khaydarov [16-17] and others have studied the solution properties of various problems expressed by such nonlinear parabolic equations..

Various qualitative properties of solutions of problem (1)-(3), for particular values of numerical parameters, have been studied by many authors [7, 8] and references therein).

Research methodology. It is well known that due to degeneration, equation (1) at may not have a classical solution. Therefore, its solution is naturally understood in a generalized sense from the class $0 \leq u, \left| \frac{\partial u^m}{\partial x} \right|^{k-2} \frac{\partial u^m}{\partial x} \in C(R_+ \times (0, +\infty))$ and satisfies equation (1.4.1) in the integral sense.

Conditions for the existence or non-existence of a global solution in time to problem (1)-(3) at $m=1$ were studied in the work [8] and it was found that the solution of problem (1)-(3) becomes unbounded if one of the following conditions is satisfied

- 1) $1 < \beta \leq 2(p-1)+1, 2(p-1)/p < q < 2(p-1);$
- 2) $\beta > 1, q > 2(p-1)/p;$
- 3) $\beta > 2(p-1)+1, q > 2(p-1).$

In the work [9] the conditions of unsolvability or solvability in general are proved, and some properties of solutions of the Cauchy problem for equation (1) are investigated for $m=1$ in the multidimensional case.

Results and discussions. We will consider the following cases and evaluate them asymptotic behavior of self-similar solutions

Case $\beta \leq 1, q > 2(k-1)$. Let us consider the following self-similar solution to the problem (1)-(3)

$$u_1(x, t) = t^\alpha \varphi(\xi), \quad \xi = xt^{-\gamma}, \quad (6)$$

where $\alpha = \frac{1}{1+m-\beta}, \gamma = \frac{k-1-\beta}{k(1+m-\beta)}.$

Using well-known solution comparison theorems, one can show, that $u_1(x, t)$ will be the lower solution of problem (1)-(3). For this, the function must satisfy the following boundary value problem:

$$\frac{d}{d\xi} \left(\rho_2(x) \left| \frac{d\varphi^m}{d\xi} \right|^{k-2} \frac{d\varphi^m}{d\xi} \right) + \rho_1(x) \gamma \xi \frac{d\varphi}{d\xi} - \alpha \varphi + \rho_3(x) \varphi^\beta = 0 \quad (7)$$

$$-\rho_2(x) \left| \frac{d\varphi^m}{d\xi} \right|^{k-2} \frac{d\varphi^m}{d\xi} \Big|_{\xi=0} = 0 \quad (8)$$

Applying the method of standard equations [10] to solve (7), we obtain the function

$$\bar{\varphi}(\xi) = \left(a - \frac{k-2}{k} \gamma^{\frac{1}{k-1}} \xi^{\frac{k}{k-1}} \right)_+^{\frac{k-1}{k-2}} \quad (9)$$

where $a > 0$.

Let us show that function (9) will be the asymptotics of the solutions of problem (7), (8).

Theorem 1. The solution of problem (7),(8) with compact support has the asymptotics

$$\varphi(\xi) = \bar{\varphi}(\xi)(1 + o(1)).$$

where $\bar{\varphi}(\xi)$ -the function defined above.

Proof. We will seek a solution to equation (7) in the following form

$$\varphi = \bar{\varphi}(\xi) w(\tau), \quad (10)$$

where $\tau = -\ln \left| a - b \xi^{\frac{k}{k-1}} \right|$, $b = \frac{k-2}{k} \gamma^{1/(k-1)}$, moreover $\tau \rightarrow +\infty$ at

$\xi \rightarrow \left(\frac{ak}{(k-2)\gamma^{1/(k-1)}} \right)^{(k-1)/k}$, which allows us to study the asymptotic stability of the

solution to the problem (7), (8) at $\tau \rightarrow +\infty$.

Equation (7), taking into account (9), takes the

$$\text{form } \rho_1 \frac{d}{d\tau} (L_1 w^m)^{k-1} + \rho_2 \left(k_1 \phi_1(\tau) - \frac{k-1}{y} \right) (L_1 w^m)^{k-1} + \rho_2 k_2 L_1 w - \rho_1 k_3 w \phi_2(\tau) - \rho_3 k_4 w^\beta \phi_2(\tau) = 0, \quad (11)$$

here and further

$$L_1 w = \frac{w}{k-2} - \frac{w'}{k-1}, \quad \phi_1(\tau) = e^{-\tau} / (a - e^{-\tau}), \quad \phi_2(\tau) = \frac{e^{-[(\beta+1)(k-1)-k]\tau/(k-2)}}{(a - e^{-\tau})^{k-2}},$$

$$J = bk, \quad k_1 = \frac{k-1}{bk}, \quad k_2 = \frac{\gamma(k-1)}{(bk)^{k-1}}, \quad k_3 = \frac{\alpha(k-1)}{b^{k-1}k^k}, \quad k_4 = \frac{k-1}{(bk)^k}.$$

The study of solutions of the last equation is equivalent to the study of those solutions of equation (1), each of which satisfies the inequalities in a certain interval: $[\tau_0, +\infty)$:

$$w(\tau) > 0, \quad \frac{w(\tau)}{k-2} - \frac{w'(\tau)}{k-1} \neq 0.$$

Let us check that the solution $w(\tau)$ of equation (11) has a finite limit $\eta \rightarrow +\infty$.

Let

$$\nu(\tau) = (L_1 w)^{k-1}.$$

Then for the derivative function $\nu(\tau)$ we have

$$\nu' = - \left(k_1 \phi_1(\tau) - \frac{k-1}{k-2} \right) \nu - k_2 L_1 w + k_3 w \phi_2(\tau) + k_4 w^q \phi_2(\tau).$$

To analyze the solutions of the last equation, we introduce an auxiliary

$$\text{function } \theta(\tau, \mu) = - \left(k_1 \phi_1(\tau) - \frac{k-1}{k-2} \right) \mu - k_2 L_1 w + k_3 w \phi_2(\tau) + k_4 w^q \phi_2(\tau) \quad (12)$$

where μ - real number. From this it is easy to see that for each value μ function $\theta(\tau, \mu)$ preserves sign over some interval $[\tau_1, +\infty) \subset [\tau_0, +\infty)$ and with all $\tau \in [\tau_1, +\infty)$ one of the inequalities is satisfied

$$\nu'(\tau) > 0, \quad \nu'(\tau) < 0.$$

Then, analyzing (12) taking into account Bohl's theorem, it follows that for the function $\nu(\tau)$ there is a limit at $\tau \in [\tau_1, +\infty)$.

Let us now make the limit transition. It is clear that when $\xi \rightarrow (a/b)_-^{(p-1)/p}$

$$\lim_{\tau \rightarrow +\infty} \phi_1(\tau) \rightarrow 0, \quad \lim_{\tau \rightarrow +\infty} \phi_2(\eta) \rightarrow 0,$$

Then taking into account the last limit and $w' = 0$ from (11) for W we obtain the following algebraic equation

$$(p-1) \left(\frac{w}{p-2} \right)^{p-1} - k_2 w = 0,$$

the solution of which is $w = 1$ and in force (10) $\varphi(\xi) = \bar{\varphi}(\xi)(1 + o(1))$.

Case $\beta > 2k-1$, $q < \frac{2(k-1)}{k}$. A self-similar solution to equation (1) is sought in the form

$$u_2(x, t) = t^\alpha \varphi(\xi), \quad \xi = xt^{-\gamma},$$

where $\alpha = \frac{k-1}{2(k-1)-kq}$, $\gamma = \frac{k-1-q}{2(k-1)-kq}$. It is known [9] that the solution of problem (1)-(3) for $\beta > 2k-1$, $q < \frac{2(k-1)}{k}$ is unlimited.

According to the principle of comparison of solutions, the function must satisfy the following inequalities

$$\begin{aligned} \rho_1(x) \frac{\partial u_2}{\partial t} &\leq \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_2(x) \left| \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|^{k-2} \frac{\partial u_2}{\partial x} \right), \quad (x, t) \in R_+ \times R_+, \\ -\rho_2(x) \left| \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|^{k-2} \frac{\partial u_2}{\partial x} (0, t) &\leq u_2^q, \quad t > 0. \end{aligned}$$

Then, taking into account the specific type of function $u_2(x, t)$ for $\varphi(\xi)$ we get

$$\rho_2(x) \frac{d}{d\xi} \left(\left| \frac{d\varphi}{d\xi} \right|^{k-2} \frac{d\varphi}{d\xi} \right) + \rho_1(x) \gamma \xi \frac{d\varphi}{d\xi} - \alpha \varphi + \rho_3(x) \varphi^\beta = 0 \quad (12)$$

$$-\rho_2(x) \left| \frac{d\varphi}{d\xi} \right|^{k-2} \frac{d\varphi}{d\xi} \Big|_{\xi=0} = \varphi^q(0). \quad (13)$$

Analyzing the problem (12), (13) based on the method of standard equations, we obtain

$$\bar{\varphi}(\xi) = K(a - \xi)_+^{\frac{k-1}{k-2}},$$

where $K > 0$, $a > 0$.

Theorem 2. The solution of problem (13), (14) with compact support has the asymptotics

$$\varphi(\xi) = C \bar{\varphi}(\xi)(1 + o(1)),$$

where $C = \left(\frac{k-2}{k-1} a \gamma \right)^{1/(k-2)} \frac{k-2}{K(k-1)}$, $\bar{\varphi}(\xi)$ the function defined above.

Theorem 2 is proved similarly to the proof of Theorem 1

Conclusion. This paper presents the asymptotic behavior of the self-similar solution of the nonlinear heat dissipation problem (1)-(3) given by any parabolic type, additional source and nonlinear boundary condition defined in (1). The research results show the necessary conditions for the self-similar solution parameters for the existence of global solutions to the problem.

References

- 1 Камынин Л.И. Метод тепловых потенциалов для параболического уравнения с разрывными коэффициентами. Сиб.матем.ж., 1963, т. IV, № 5. - С.1071-1105.
- 2 Калашников А.С. Некоторые вопросы качественной теории нелинейных вырождающихся параболических уравнений второго порядка. УМН, 1987, т.42, Вып. 2 (254). - С.135-176.
- 3 DiBenedetto, E., Degenerate Parabolic Equations, New York: Springer-Verlag, 1993.

4. Z.Q. Wu, J.N. Zhao, J.X. Yin, H.L. Li, Nonlinear Diffusion Equations, World Scientific, Singapore, 2001.
5. Самарский А.А., Дородницын В.А., Курдюмов С.П., Попов Ю.П. Образование Т-слоев в процессе торможения плазмы магнитным полем // ДАН АН СССР. 1974. Т. 216, № 6.- С. 1254.
6. Режимы с обострением. Эволюция идеи: Законы коэволюции сложных структур // Сб.: «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения» / Ред. Г.Г. Малинецкий.- М.: Наука, 1998. - 255 с.
7. X. Song, S. Zheng, Blow-up and blow-up rate for a reaction-diffusion model with multiple nonlinearities, Nonlinear Anal. 54 (2003) 279–289.
8. Zhongping Li, Chunlai Mu, Li Xie. Critical curves for a degenerate parabolic equation with multiple nonlinearities. J. Math. Anal. Appl. 359 (2009) 39–47.
9. Галактионов В. А. Об условиях несуществования в целом и локализации решений задачи Коши для одного класса нелинейных параболических уравнений. - ЖВМ и МФ, т. 23, № 6, 1983, 1341-1354.
10. Арипов М.М. Методы эталонных уравнений для решения нелинейных краевых задач. - Ташкент, Фан, 1988. - 137 с.
11. Aripov M. M., Matyakubov A. S. To the qualitative properties of solution of system equations not in divergence form of polytrophic filtration in variable density, Nanosystems: Physics Chemistry Mathematics, 2017. vol. 8(3), pp. 317-322.
12. Rakhmonov Z., Urumbaev J., Alimov A. Properties of solutions of a system of nonlinear parabolic equations with nonlinear boundary conditions, AIP Conference Proceedings, 2022. vol. 2637, no. 040008.
13. Rakhmonov Z., Parovik R., Alimov A. Global existence and nonexistence for a multidimensional system of parabolic equations with nonlinear boundary conditions., AIP Conference Proceedings, 2021. vol. 2365, no. 060022.
14. D Yarmetova, M Mamatqulova, D Nazirova, [The numerical solution of the two-dimensional nonlinear connected limited problem](#) AIP Conference Proceedings 3147 (1), 2024
15. [Aripov, M., Matyakubov, A.S., Khasanov, J.O., Bobokandov, M.M.](#) Mathematical modeling of double nonlinear problem of reaction diffusion in not divergent form with a source and variable density., Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2131(3), 032043
16. [Khaydarov, A., Mamatov, A.](#) Modeling of Double Nonlinear Thermal Conductivity Processes in Two-Dimensional Domains Using Solutions of an Approximately Self-Similar., AIP Conference Proceedings, 2023, 2781, 020067
17. [Rakhmonov, Z.R., Khaydarov, A., Urumbaev, J.E.](#), Global existence and nonexistence of solutions to a cross diffusion system with nonlocal boundary conditions, Mathematics and Statistics., 2020, 8(4), pp. 404–409
18. [Aripov, M., Matyakubov, A., Bobokandov, M.](#) Cauchy Problem for the Heat Dissipation Equation in Non-homogeneous Medium. AIP Conference Proceedings 2023, 2781, 020027

KICHIK O'LCHAMLI YECHILUVCHAN LI ALGEBRALARINING LOKAL DIFFERENSIALLASHLARI

Yuldashev Inomjon G'ulombay o'g'li

Nukus davlat pedagogika instituti Matematika o'qitish metodikasi kafedrasida
assistent o'qituvchisi

i.yuldashev1990@mail.ru

ORCID 0009-0004-4268-5420

Joldasbayeva Raxiza

Nukus davlat pedagogika instituti

Matematika o'qitish metodikasi kafedrasida 1-kurs magistranti

UDK 517.98

Anotatsiya. So'nggi yillarda klassik tizimlarning assotsiativ bo'lmagan analoglari matematika va fizikaning ko'plab sohalarida qo'llanilib kelmoqda. Li va Leibniz algebralari kabi ba'zi noassotsiativ algebralar uchun lokal operatorlar, xususan lokal va 2-lokal differensiallashlar tushunchalari ham keng o'rganila boshladi. Ushbu tushunchalarga aloqador asosiy muammolar har bir lokal (yoki 2-lokal) avtomorfizm va differensiallash oddiy ma'noda avtomorfizm va differensiallash bo'ladigan shartlarni topish, shuningdek, avtomorfizm bo'lmagan (mos ravishda differensiallash) lokal va 2-lokal avtomorfizmga ega algebralar sinflarini aniqlashdan iboratdir. Hozirgi kunda jahonda differensiallashlar nazariyasi bilan bir qatorda, operator algebralarida lokal va 2-lokal differensiallashlar nazariyasi ham muhim hisoblanadi. So'nggi yigirma yil davomida Fon Neyman algebralari, C^* -algebralari va JB^* -uchliklarda lokal va 2-lokal differensiallashlar nazariyasini o'rganish bo'yicha samarali natijalarga erishildi. Ushbu maqolada 2, 3

va 4-o'ldamli yechiluvchan Li algebralarining lokal differentsiallashlari o'rganilgan.

Kalit so'zlar: Li algebra, differentsiallash, lokal differentsiallash

LOCAL DIFFERENTIATIONS OF SMALL-DIMENSIONAL SOLVABLE Lie ALGEBRAS

Abstract. In recent years, non-associative analogues of classical systems have found applications in many areas of mathematics and physics. For some non-associative algebras, such as Lie and Leibniz algebras, the concepts of local operators, in particular local and 2-local differentiations have also begun to be widely studied. The main problems associated with these concepts are to find conditions under which every local (or 2-local) automorphism and differentiation are automorphisms and differentiations in the usual sense, and to determine classes of algebras that have local and 2-local automorphisms that are not automorphisms (derivations, respectively). At present, in addition to the theory of differentiation, the theory of local and 2-local differentiation in operator algebras is also of great importance in the world. Over the past twenty years, fruitful results have been achieved in the study of the theory of local and 2-local differentiations in von Neumann algebras, C^* -algebras, and JB^* -triples. The article studies local differentiations of solvable Lie algebras in 2, 3 and 4 dimensions.

Keywords: Lie algebra, derivation, local derivation

Kirish. $\mathcal{A}$ ba'zi bir algebra (assosiativ bo'lmagan). $D: \mathcal{A} \rightarrow \mathcal{A}$ chiziqli akslantirish barcha $x, y \in \mathcal{A}$ elementlar uchun $D(xy) = D(x)y + xD(y)$ tengligini qanoatlantirsa, unda bu akslantirish differentsiallash deyiladi. A chiziqli akslantirish Δ lokal differentsiallash deyiladi, agar har bir $x \in \mathcal{A}$ uchun D_x differentsiallash bor bo'lib bunda $\mathcal{A}$ (x elementiga bog'liq) differentsiallash ko'rinishi quyidagicha $\Delta(x) = D_x(x)$. Lokal avtomorfizmning ta'rifi ham xuddi shunday beriladi [1].

Adabiyotlar tahlili. Yuqoridagi tushunchalar R.V. Kadison ishlarida keltirilgan va o'rganilgan. [1] Shu bilan birgalikda D.R. Larson va A.R. Sourour ishlarida ham keltirilgan [2]. Yuqorida ta'kidlab o'tilgan ishlar avtomorfizmlar, C^* -algebralar va operator algebralarining differentsiallashlariga yaqin bo'lgan akslantirishlarning tavsifiga bag'ishlangan bir qator ishlarga turtki bo'ldi. D.R. Larson va A.R. Sourourlar $\mathcal{A} = B(X)$, tenglikni isbotlashdi, X Banach fazosidagi barcha chegaralangan chiziqli operatorlar algebrasi, u holda $\mathcal{A}$ ning har bir teskari lokal avtomorfizmdir. Shunday qilib $B(X)$ dagi avtomorfizmlar ularning lokal ta'siri yordamida to'liq aniqlanadi. Murakkab yarim oddiy chekli o'lchovli Leybnits algebrasidagi har bir lokal differentsiallash differentsiallash ekanligi isbotlangan. [7]

Tadqiqot metodologiyasi. Yechiluvchan Li algebralari. $\mathcal{L}$ Li algebrasi bo'lsin. Quyidagi markaziy qatorlarni qaraylik:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}^1 &= \mathcal{L}, & \mathcal{L}^{k+1} &= [\mathcal{L}^k, \mathcal{L}], & k &\geq 1, \\ \mathcal{L}^{[1]} &= \mathcal{L}, & \mathcal{L}^{[s+1]} &= [\mathcal{L}^{[s]}, \mathcal{L}^{[s]}], & s &\geq 1.\end{aligned}$$

$\mathcal{L}$ Li algebrasi nilpotent deyiladi (mos ravishda, yechiluvchan), agar shunday $p \in \mathbb{N}$ ko'rinishdagi $\mathcal{L}^p = 0$ (mos ravishda, $\mathcal{L}^{[p]} = 0$). Bunda k eng kichik butun son $\mathcal{L}^k = 0$ tengligi $\mathcal{L}$ ning nilindeksi (yoki nilpotentlik klassi) deyiladi. [6]

Quyidagi kichik o'lchamli yechiluvchan Li algebralarini qaraylik[4-5]:

$$\begin{aligned}L_1 &= \{e_1, e_2\}: [e_2, e_1] = e_2, [e_1, e_2] = -e_2, \\ L_2(\alpha) &= \{e_1, e_2, e_3\}: [e_1, e_3] = -[e_3, e_1] = e_1, [e_2, e_3] = -[e_3, e_2] = \alpha e_2 \\ L_3 &= \{e_1, e_2, e_3\}: [e_1, e_3] = -[e_3, e_1] = e_1 + e_2, [e_2, e_3] = -[e_3, e_2] = e_2 \\ L_4 &= \{e_1, e_2, e_3, e_4\}: [e_1, e_2] = -[e_2, e_1] = e_3, [e_1, e_4] = -[e_4, e_1] = e_1, [e_2, e_4] = -[e_4, e_2] = \alpha e_2, \\ & \quad [e_3, e_4] = -[e_4, e_3] = (1 + \alpha) e_3. \\ L_5 &= \{e_1, e_2, e_3, e_4\}: [e_1, e_2] = -[e_2, e_1] = e_3, [e_1, e_4] = -[e_4, e_1] = e_1 + e_2, [e_2, e_4] = -[e_4, e_2] = e_2, \\ & \quad [e_3, e_4] = -[e_4, e_3] = 2e_3. \\ L_6(\alpha, \beta) &= \{e_1, e_2, e_3, e_4\}: [e_1, e_4] = -[e_4, e_1] = e_1, [e_2, e_4] = -[e_4, e_2] = \alpha e_2, \\ & \quad [e_3, e_4] = -[e_4, e_3] = \beta e_3.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_7(\alpha) &= \{e_1, e_2, e_3, e_4\} : [e_1, e_4] = -[e_4, e_1] = e_1 + e_2, [e_2, e_4] = -[e_4, e_2] = e_2, \\
&\quad [e_3, e_4] = -[e_4, e_3] = \alpha e_3. \\
L_8 &= \{e_1, e_2, e_3, e_4\} : [e_1, e_4] = -[e_4, e_1] = e_1 + e_2, [e_2, e_4] = -[e_4, e_2] = e_2 + e_3, \\
&\quad [e_3, e_4] = -[e_4, e_3] = e_3.
\end{aligned}$$

Yuqorida keltirilgan $L_1 - L_8$ algebralarining differensiallashlari matritsasining umumiy ko‘rinishi quyidagicha:

$$\begin{aligned}
Der(L_1) &= \begin{pmatrix} \xi_1 & 0 \\ \xi_2 & 0 \end{pmatrix}, \quad Der(L_2(\alpha)) = \begin{pmatrix} \xi_1 & 0 & 0 \\ 0 & \xi_2 & 0 \\ \xi_3 & \xi_4 & 0 \end{pmatrix}, \quad Der(L_3) = \begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & 0 \\ 0 & \xi_1 & 0 \\ \xi_3 & \xi_4 & 0 \end{pmatrix} \\
Der(L_4(\alpha)) &= \begin{pmatrix} \xi_1 & 0 & \xi_3 & 0 \\ 0 & \xi_2 & \xi_4 & 0 \\ 0 & 0 & \xi_1 + \xi_2 & 0 \\ \xi_4 & \alpha \xi_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Der(L_5) = \begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 & 0 \\ 0 & \xi_1 & \xi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 2\xi_1 & 0 \\ \xi_4 & \xi_4 - \xi_3 & \xi_5 & 0 \end{pmatrix} \\
Der(L_6(\alpha, \beta)) &= \begin{pmatrix} \xi_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \xi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \xi_3 & 0 \\ \xi_4 & \xi_5 & \xi_6 & 0 \end{pmatrix}, \quad Der(L_7(\alpha)) = \begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & 0 & 0 \\ 0 & \xi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \xi_3 & 0 \\ \xi_4 & \xi_5 & \xi_6 & 0 \end{pmatrix} \\
Der(L_8) &= \begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 & 0 \\ 0 & \xi_1 & \xi_2 & 0 \\ 0 & 0 & \xi_1 & 0 \\ \xi_4 & \xi_5 & \xi_6 & 0 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Quyidagi teoremda yuqorida keltirilgan 2, 3 va 4 o‘lchamli yechiluvchan Li algebralarining lokal differensiallashlari o‘rganilgan.

Olingan natijalar va muhokama. Teorema. $L_1 - L_8$ algebralar uchun quyidagi tasdiqlar o‘rinli:

1. L_1, L_2 va L_6 algebralar uchun ixtiyoriy lokal differensiallash oddiy ma’noda ham differensiallash bo‘ladi.
2. L_3, L_4, L_5, L_7, L_8 algebralar uchun esa oddiy ma’noda differensiallash bo‘lmaydigan lokal differensiallash mavjud va ushbu algebralar lokal differensiallashlari matritsasining umumiy ko‘rinishi quyidagicha:

$$\begin{aligned}
LocDer(L_3) &= \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_3 & 0 \\ \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \end{pmatrix}, \quad LocDer(L_4(\alpha)) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_3 & \lambda_4 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_5 & 0 \\ \lambda_6 & \lambda_7 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
LocDer(L_5) &= \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_6 & 0 \\ \lambda_7 & \lambda_8 & \lambda_9 & 0 \end{pmatrix}, \quad LocDer(L_7) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_4 & 0 \\ \lambda_5 & \lambda_6 & \lambda_7 & 0 \end{pmatrix} \\
LocDer(L_8) &= \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_6 & 0 \\ \lambda_7 & \lambda_8 & \lambda_9 & 0 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Isboti. Dastlab birinchi tasdiqni isbotlaymiz. Ma’lumki, L_1 algebra differensiallashlari matritsasining umumiy ko‘rinishi quyidagicha:

$$Der(L_1) = \begin{pmatrix} \xi_1 & 0 \\ \xi_2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Aytaylik, Δ akslantirish L_1 algebraning lokal differensiallashi bo‘lsin. U

$$\text{holda } \Delta(e_1) = \alpha_1 e_1 + \alpha_2 e_2, \quad \Delta(e_2) = \alpha_3 e_1 + \alpha_4 e_2$$

ko‘rinishda yozish mumkin. Boshqa tomondan $\Delta(e_1) = d_{e_1}(e_1) = \xi_1 e_1$. Bundan esa $\alpha_1 = 0$ tenglikni hosil qilish mumkin. Xuddi shu kabi $\Delta(e_2) = d_{e_2}(e_2) = \xi_2 e_2$ tenglikdan $\alpha_2 = 0$ tenglikni olamiz. Natijada $\Delta(e_1) = \alpha_2 e_2$, $\Delta(e_2) = \alpha_4 e_2$ ifodalarni hosil qildik, ya‘ni $\Delta \in \text{Der}(L)$.

Shunga o‘xshash $L_2(\alpha)$ va $L_6(\alpha, \beta)$ algebralar uchun ham lokal differensiallashlar va oddiy ma‘nodagi differensiallashlarning ustma-ust tushishini ko‘rsatish mumkin.

Endi L_3 algebrani qaraymiz. Yuqoridagi tasdiqdan ma‘lumki, bu algebra differensiallashlari matritsasining umumiy ko‘rinishi quyidagicha:

$$\text{Der}(L_3) = \begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & 0 \\ 0 & \xi_1 & 0 \\ \xi_3 & \xi_4 & 0 \end{pmatrix}.$$

Faraz qilaylik, ushbu algebraning lokal differensiallashi matritsasining umumiy ko‘rinishi quyidagicha bo‘lsin:

$$\text{LocDer}(L_3) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

Lokal differensiallashning ta‘rifiga ko‘ra Δ akslantirish L_3 algebraning lokal differensiallashi bo‘lsa, $\forall x \in L_3$ element uchun shunday d_x differensiallash mavjud bo‘lib, $\Delta(x) = d_x(x)$ tenglik o‘rinli bo‘lishi kerak. Xususan $\Delta(e_i) = d_{e_i}(e_i)$. U holda $\Delta(e_1) = \alpha_{1,1}e_1 + \alpha_{1,2}e_2 + \alpha_{1,3}e_3$ va $d_{e_1}(e_1) = \xi_1^1 e_1 + \xi_2^1 e_2$ tengliklarni taqqoslaymiz:

$$\alpha_{1,1}e_1 + \alpha_{1,2}e_2 + \alpha_{1,3}e_3 = \xi_1^1 e_1 + \xi_2^1 e_2$$

Bundan $\alpha_{1,3} = 0$ tenglikni hosil qilamiz. Xuddi shu kabi lokal differensiallash ta‘rifini e_2 va e_3 elementlar uchun ham qo‘llab $\alpha_{2,1} = \alpha_{2,3} = \alpha_{3,3} = 0$ tengliklarni olamiz. Lokal differensiallash matritsasi quyidagi ko‘rinishga keldi:

$$\text{LocDer}(L_3) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 0 \end{pmatrix}$$

Endi ixtiyoriy $x \in L_3$ element uchun shunday d_x differensiallash mavjud bo‘lib,

$\Delta(x) = d_x(x)$ tenglik o‘rinli bo‘lishini ko‘rsatishimiz kerak. Faraz qilaylik, $x \in L_3$ bo‘lsin.

U holda uni bazis elementlarining chiziqli kombinatsiyasi ko‘rinishida ifodalash mumkin:

$x = \beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3$. Δ – lokal differensiallashning x dagi qiymati

$$\begin{aligned} \Delta(x) &= \Delta(\beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3) = \beta_1 \Delta(e_1) + \beta_2 \Delta(e_2) + \beta_3 \Delta(e_3) = \\ &= \beta_1 (\alpha_{1,1} e_1 + \alpha_{1,2} e_2) + \beta_2 \alpha_{2,2} e_2 + \beta_3 (\alpha_{3,1} e_1 + \alpha_{3,2} e_2) = \\ &= (\beta_1 \alpha_{1,1} + \beta_3 \alpha_{3,1}) e_1 + (\beta_1 \alpha_{1,2} + \beta_2 \alpha_{2,2} + \beta_3 \alpha_{3,2}) e_2 \end{aligned}$$

Endi $d \in \text{Der}(L)$ differensiallashning x dagi qiymatini yozamiz:

$$\begin{aligned} d(x) &= d(\beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3) = \beta_1 d(e_1) + \beta_2 d(e_2) + \beta_3 d(e_3) = \\ &= \beta_1 (\xi_1 e_1 + \xi_2 e_2) + \beta_2 \xi_1 e_2 + \beta_3 (\xi_3 e_1 + \xi_4 e_2) = \\ &= (\beta_1 \xi_1 + \beta_3 \xi_3) e_1 + (\beta_1 \xi_2 + \beta_2 \xi_1 + \beta_3 \xi_4) e_2 \end{aligned}$$

Ushbu tengliklarni taqqoslaymiz:

$$\begin{cases} \beta_1 \alpha_{1,1} + \beta_3 \alpha_{3,1} = \beta_1 \xi_1 + \beta_3 \xi_3, \\ \beta_1 \alpha_{1,2} + \beta_2 \alpha_{2,2} + \beta_3 \alpha_{3,2} = \beta_1 \xi_2 + \beta_2 \xi_1 + \beta_3 \xi_4. \end{cases} \quad (1)$$

Bu sistemani $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ o'zgaruvchilarga nisbatan yechamiz. Biz ushbu sistema yechimga ega ekanligini ko'rsatishimiz kerak.

Yuqoridagi sistema uchun chiziqli algebra kursidan ma'lum bo'lgan Kroniker-Kapelli teoremasini qo'llaymiz:

$A = \begin{pmatrix} \beta_1 & 0 & \beta_3 & 0 \\ \beta_2 & \beta_1 & 0 & \beta_3 \end{pmatrix}$ $B = \begin{pmatrix} \beta_1 & 0 & \beta_3 & 0 & \beta_1\alpha_{1,1} + \beta_3\alpha_{3,1} \\ \beta_2 & \beta_1 & 0 & \beta_3 & \beta_1\alpha_{1,2} + \beta_2\alpha_{2,2} + \beta_3\alpha_{3,2} \end{pmatrix}$ matritsalarining rangini taqqoslaymiz. Agar $\beta_3^2 + \beta_1^2 > 0$ bo'lsa, $\text{rank}(A) = \text{rank}(B) = 2$, ya'ni (1) sistema yechimga ega. Agar $\beta_3^2 + \beta_1^2 = 0$ bo'lsa, u holda $\text{rank}(A) = \text{rank}(B) = 1$ va Kroniker-Kapelle teoremasiga ko'ra (1) sistema har doim yechimga ega. Biz L_3 algebra lokal differensiallashlari matritsasining umumiy ko'rinishi quyidagicha bo'lishini isbotladik.

$$\text{LocDer}(L_3) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 0 \end{pmatrix}$$

Qulaylik uchun matritsada qatnashgan parametrlarni λ parametrlarga almashtiramiz:

$$\text{LocDer}(L_3) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_3 & 0 \\ \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \end{pmatrix}.$$

Endi L_5 algebrani qaraymiz. Bu algebra differensiallashlari matritsasining umumiy ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\text{Der}(L_5) = \begin{pmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 & 0 \\ 0 & \xi_1 & \xi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 2\xi_1 & 0 \\ \xi_4 & \xi_4 - \xi_3 & \xi_5 & 0 \end{pmatrix}$$

Aytaylik L_5 algebra lokal differensiallashlari matritsasining umumiy ko'rinishi quyidagicha bo'lsin:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \alpha_{1,3} & \alpha_{1,4} \\ \alpha_{2,1} & \alpha_{2,2} & \alpha_{2,3} & \alpha_{2,4} \\ \alpha_{3,1} & \alpha_{3,2} & \alpha_{3,3} & \alpha_{3,4} \\ \alpha_{4,1} & \alpha_{4,2} & \alpha_{4,3} & \alpha_{4,4} \end{pmatrix}$$

Dastlab bazis elementlari uchun lokal differensiallash ta'rifini qo'llaymiz. $\Delta(e_1) = d_{e_1}(e_1)$ tenglik bajarilishi uchun $\alpha_{1,4} = 0$ bo'lishi zarur. Shu kabi $\Delta(e_2) = d_{e_2}(e_2)$, $\Delta(e_3) = d_{e_3}(e_3)$, $\Delta(e_4) = d_{e_4}(e_4)$ tengliklardan quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\alpha_{2,1} = \alpha_{2,4} = 0, \quad \alpha_{3,1} = \alpha_{3,2} = \alpha_{3,4} = 0, \quad \alpha_{4,4} = 0.$$

Natijada lokal differensiallash matritsasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\text{LocDer}(L_5) = \begin{pmatrix} \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \alpha_{1,3} & 0 \\ 0 & \alpha_{2,2} & \alpha_{2,3} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{3,3} & 0 \\ \alpha_{4,1} & \alpha_{4,2} & \alpha_{4,3} & 0 \end{pmatrix}$$

Faraz qilaylik, $x \in L_5$ bo'lsin. U holda uni bazis elementlarining chiziqli kombinatsiyasi ko'rinishida ifodalash mumkin: $x = \beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3 + \beta_4 e_4$. Δ – lokal differensiallashning x dagi qiymati

$$\begin{aligned} \Delta(x) &= \Delta(\beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3 + \beta_4 e_4) = \beta_1 \Delta(e_1) + \beta_2 \Delta(e_2) + \beta_3 \Delta(e_3) + \\ &+ \beta_4 \Delta(e_4) = \beta_1 (\alpha_{1,1} e_1 + \alpha_{1,2} e_2 + \alpha_{1,3} e_3) + \beta_2 (\alpha_{2,2} e_2 + \alpha_{2,3} e_3) + \beta_3 \alpha_{3,3} e_3 + \\ &+ \beta_4 (\alpha_{4,1} e_1 + \alpha_{4,2} e_2 + \alpha_{4,3} e_3) = (\beta_1 \alpha_{1,1} + \beta_4 \alpha_{4,1}) e_1 + (\beta_1 \alpha_{1,2} + \beta_2 \alpha_{2,2} + \beta_4 \alpha_{4,2}) e_2 + \\ &+ (\beta_1 \alpha_{1,3} + \beta_2 \alpha_{2,3} + \beta_3 \alpha_{3,3} + \beta_4 \alpha_{4,3}) e_3 \end{aligned}$$

Endi $d \in \text{Der}(L)$ differensiallashning x dagi qiymatini yozamiz:

$$\begin{aligned} d(x) &= d(\beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3 + \beta_4 e_4) = \beta_1 d(e_1) + \beta_2 d(e_2) + \beta_3 d(e_3) + \\ &+ \beta_4 d(e_4) = \beta_1(\xi_1 e_1 + \xi_2 e_2 + \xi_3 e_3) + \beta_2(\xi_1 e_2 + \xi_4 e_3) + 2\beta_3 \xi_1 e_3 + \\ &+ \beta_4(\xi_4 e_1 + (\xi_4 - \xi_3)e_2 + \xi_5 e_3) = (\beta_1 \xi_1 + \beta_4 \xi_4)e_1 + (\beta_1 \xi_2 + \beta_2 \xi_1 + \beta_4(\xi_4 - \xi_3))e_2 + \\ &+ (\beta_1 \xi_3 + \beta_2 \xi_4 + 2\beta_3 \xi_1 + \beta_4 \xi_5)e_3 \end{aligned}$$

Ushbu tengliklarni taqqoslaymiz:

$$\begin{cases} \beta_1 \xi_1 + \beta_4 \xi_4 = \beta_1 \alpha_{1,1} + \beta_4 \alpha_{4,1}, \\ \beta_1 \xi_2 + \beta_2 \xi_1 + \beta_4(\xi_4 - \xi_3) = \beta_1 \alpha_{1,2} + \beta_2 \alpha_{2,2} + \beta_4 \alpha_{4,2}, \\ \beta_1 \xi_3 + \beta_2 \xi_4 + 2\beta_3 \xi_1 + \beta_4 \xi_5 = \beta_1 \alpha_{1,3} + \beta_2 \alpha_{2,3} + \beta_3 \alpha_{3,3} + \beta_4 \alpha_{4,3}. \end{cases} \quad (1.2.2)$$

Bu sistemani $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$ o'zgaruvchilarga nisbatan yechamiz. Biz ushbu sistema yechimga ega ekanligini ko'rsatishimiz kerak. Ushbu sistema uchun ham Kroniker-Kapelle teoremasini qo'llaymiz.

$$A = \begin{pmatrix} \beta_1 & 0 & 0 & \beta_4 & 0 \\ \beta_2 & \beta_1 & -\beta_4 & \beta_4 & 0 \\ 2\beta_3 & 0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_4 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \beta_1 & 0 & 0 & \beta_4 & 0 & \beta_1 \alpha_{1,1} + \beta_4 \alpha_{4,1} \\ \beta_2 & \beta_1 & -\beta_4 & \beta_4 & 0 & \beta_1 \alpha_{1,2} + \beta_2 \alpha_{2,2} + \beta_4 \alpha_{4,2} \\ 2\beta_3 & 0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_4 & \beta_1 \alpha_{1,3} + \beta_2 \alpha_{2,3} + \beta_3 \alpha_{3,3} + \beta_4 \alpha_{4,3} \end{pmatrix}$$

A va B matritsalar ranklarini taqqoslaymiz. Agar $\beta_1^2 + \beta_4^2 > 0$ bo'lsa, $\text{rank}(A) = \text{rank}(B) = 3$, ya'ni (1.2.2) sistema yechimga ega. Agar $\beta_1^2 + \beta_4^2 = 0$ bo'lsa, u holda $\text{rank}(A) = \text{rank}(B) = 2$. Agar $\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_4^2 = 0$ bo'lsa, $\text{rank}(A) = \text{rank}(B) = 1$ va Kroniker-Kapelle teoremasiga ko'ra (1.2.2) sistema har doim yechimga ega. Biz L_5 algebra lokal differensiallashlari matritsasining umumiy ko'rinishi quyidagicha bo'lishini isbotladik.

$$\text{LocDer}(L_5) = \begin{pmatrix} \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \alpha_{1,3} & 0 \\ 0 & \alpha_{2,2} & \alpha_{2,3} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{3,3} & 0 \\ \alpha_{4,1} & \alpha_{4,2} & \alpha_{4,3} & 0 \end{pmatrix}$$

Qulaylik uchun matritsada qatnashgan parametrlarni λ parametrlarga almashtiramiz:

$$\text{LocDer}(L_5) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_6 & 0 \\ \lambda_7 & \lambda_8 & \lambda_9 & 0 \end{pmatrix}$$

Shunga o'xshash L_4, L_7, L_8 algebralar uchun ham lokal differensiallash matritsalarining umumiy ko'rinishini topish mumkin. Teorema isbotlandi.

Xulosa. 1. L_1, L_2 va L_6 algebralar uchun ixtiyoriy lokal differensiallash oddiy ma'noda ham differensiallash bo'lishi ko'rsatilgan.

2. L_3, L_4, L_5, L_7, L_8 algebralar uchun esa oddiy ma'noda differensiallash bo'lmaydigan lokal differensiallash mavjud va ushbu algebralar lokal differensiallashlari matritsasining umumiy ko'rinishi topilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. R.V. Kadison, Local derivations, *J. Algebra*, 130 (1990) 494-509.
2. D. R. Larson, A. R. Sourour, Local derivations and local automorphisms of $B(X)$, *Proc. Sympos. Pure Math.* **51** (1990) 187-194.
3. B. Verbeke, Almost inner derivations of Lie algebras, PhD dissertation, KU Leuven Faculty of Science, 2020.
4. Šnobl L., On the structure of maximal solvable extensions and of Levi extensions of nilpotent Lie

algebras // J. Phys. A, Math. Theor. 43:17 (2010) Article ID 505202.

5. Šnobl L., Winternitz P., A class of solvable Lie algebras and their Casimir invariants // Journal of Physics A, 38 (2005), 2687–2700.

6. I.G'.Yuldashev. Local derivations on solvable Lie algebras with a filiform nilradical // "Qoraqlapog'istonda fan va ta'lim" 2021-yil 4-son (18)

7. I.Kaygorodov, K.K.Kudaybergenov, I.G'.Yuldashev. Local derivations of semisimple Leibniz algebras // CIMPA School "Nonassociative Algebras and Its Applications", Madagascar. Communications in Mathematics 30 (2022), DOI: <https://doi.org/10.46298/cm.9274>.

8. Ayupov Sh.A., Arzikulov F.N. Description of 2-local and local derivations on some Lie rings of skew-adjoint matrices // Journal of Linear and Multilinear Algebra. 68(4) (2020), p. 764-780.

9. Ayupov Sh. A., Kudaybergenov K. K. 2-Local derivations and automorphisms on $B(H)$ // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 395 (2012), p. 15–18.

10. Ayupov Sh. A., Kudaybergenov K. K. 2-local derivations on von Neumann algebras // Positivity. 19 (2015), p. 445-455.

НАЧАЛЬНО-КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

Хасанов И.И.

Преподаватель Бухарского
государственного университета

ihasanov998@gmail.com

i.i.hasanov@buxdu.uz

Шодиев О.Т.

Студент Бухарского
государственного университета

otabekshodiyevt@gmail.com

УДК 517.95

Аннотация. В данной статье мы изучаем дифференциальные уравнения дробного порядка с сингулярными коэффициентами и построение их решений с использованием функции Грина. Кроме того, в статье анализируется влияние сингулярных коэффициентов и метод решения прямой задачи. Дробные диффузионные уравнения расширяют классические модели диффузионных процессов, позволяя эффективно описывать аномальную диффузию и сложные физические явления. Рассматриваются основные виды производных дробного порядка, их свойства и применение к диффузионным уравнениям. Анализируются методы решения краевых задач с использованием функции Грина, а также строятся и исследуются фундаментальные решения дробных уравнений. Кроме того, результаты исследования показывают широкие возможности использования дробных диффузионных уравнений для моделирования сложных физических процессов.

Ключевые слова: дробная производная Капуто, функция Миттаг-Леффлера, преобразование Лапласа, начальные условия, граничные условия.

KARS TARTIBLI DIFFUZIYA TENGLAMASI UCHUN BOSHLANG'ICH CHEGARAVIY MASALA

Annotatsiya. Ushbu maqolada biz singulyar koeffitsiyentli kasrli differensial tenglamalar va ularning Grin funksiyasidan foydalangan holda yechimlarini qurishni o'rganamiz. Shu bilan bigra, maqolada singulyar koeffitsiyentlarning ta'siri, to'g'ri masalani yechish usuli tahlil qilingan. Kasr tartibli diffuziyali tenglamalar diffuziya jarayonlarining klassik modellarini kengaytirish va anomaliy diffuziya hamda murakkab fizik hodisalarni samarali tasvirlash imkonini beradi. Maqolada kasr tartibli hosilalarining asosiy turlari, ularning xossalari va diffuziya tenglamalariga qo'llanilishi ko'rib chiqilgan. Grin funksiya yordamida chegaraviy masalalarni yechish usullari tahlil qilingan va kasr tartibli tenglamalar uchun fundamental yechimlar qurilgan va tadqiq qilingan. Bundan tashqari tadqiqot natijalari murakkab fizik jarayonlarni modellashtirish uchun kasr tartibli diffuziya tenglamalaridan foydalanishning keng imkoniyatlarini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Kaputo kasr hosilasi, Mittag-Leffler funksiyasi, Laplas aylantirishi, boshlang'ich shartlar, chegaraviy shartlari.

Введение. В последние десятилетия наблюдается растущий интерес к изучению дифференциальных уравнений дробного порядка. Это связано с их способностью адекватно описывать сложные процессы, обладающие памятью и наследственностью, которые встречаются в физике, биологии, экономике и инженерных науках. Одной из

таких моделей является уравнение диффузии дробного порядка, которое обобщает классическое уравнение теплопроводности и учитывает эффекты аномальной диффузии.

Особый интерес вызывает исследование прямых и обратных задач для уравнений диффузии дробного порядка с сингулярными коэффициентами. Их наличие усложняет анализ и требует применения специализированных методов для изучения корректности постановки задач, устойчивости решений и методов их нахождения. Подобные задачи возникают, например, при моделировании процессов теплопередачи в неоднородных средах, пористых материалах или в задачах фильтрации жидкостей и газов.

Прямая задача для уравнения диффузии дробного порядка предполагает нахождение распределения температуры или концентрации при известных начальных и граничных условиях, а также известных коэффициентах уравнения. Обратная задача, напротив, требует восстановления неизвестных параметров уравнения или начальных условий на основе имеющихся данных о состоянии системы в определённые моменты времени или в заданных точках пространства.

Актуальность исследования обусловлена как теоретическим интересом к углублённому анализу дробных дифференциальных уравнений, так и практическим спросом на точные модели для описания сложных физических процессов. В данной работе рассматриваются методы решения прямых и обратных задач для уравнения диффузии дробного порядка с сингулярными коэффициентами, а также анализируются их особенности и сложности.

Постановка задачи. В данной работе исследуется начально-краевая задача для дифференциального уравнения, содержащего дробную производную:

$$\mathcal{D}_t^\alpha u(x, t) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} u(x, t) + \frac{k}{x} \frac{\partial}{\partial x} u(x, t) + f(x, t), \quad (x, t) \in \Omega_T, \quad (1)$$

с начальными условиями

$$u(x, T) = \varphi(x), x \in [0, l], \quad (2)$$

и граничными условиями

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^k \frac{\partial}{\partial x} u(x, t) = 0, u(l, t) = 0, t \in [0, T]. \quad (3)$$

В задаче (1)-(3) $\mathcal{D}_t^\alpha$ обозначает дробную производную Римана-Лиувилля в смысле Капуто, где параметры принимают значения:

$$k \in (-1, 0), T > 0, l > 0, \Omega_T = \{(x, t) | x \in (0, l), t \in (0, T)\}.$$

Методология исследования Для анализа данной задачи используются методы дробного исчисления, теория краевых задач и численные методы. В частности, применяются методы построения решений с использованием функций Грина и специальных функций. Важным аспектом работы является исследование существования и единственности решения задачи (1)-(3), а также его асимптотического поведения при $t \rightarrow 0$ и $t \rightarrow T$.

Настоящее исследование основано на фундаментальных работах в области дробного исчисления, в том числе на трудах таких авторов, как У.А. Розиков, А.Й. Хамраев, У.У. Джамилов, Ладра, Ф. Мухаммедов и других ученых. Дальнейшее развитие данной теории способствует расширению применения дробных дифференциальных уравнений в различных областях науки и техники.

Постановка прямой задачи: Требуется найти функцию $u(x, t)$, принадлежащую классу $C_{x,t}^{2,1}(\Omega_T)$, такую, что $x^k u_x(x, t) \in C(\Omega_T)$ и удовлетворяющую следующим условиям: дифференциальному уравнению (1), начальному условию (2), граничным условиям (3), где $\varphi(x)$ и $f(x, t)$ — заданные достаточно гладкие функции.

Решение данной задачи (1)-(3) ищем методом Фурье. Представим искомую функцию в виде $u(x, t) = X(x)Y(t)$. Рассмотрим однородную часть уравнения (1):

$$\mathcal{D}_t^\alpha (XY) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (XY) + \frac{k}{x} \frac{\partial}{\partial x} (XY),$$

$$X \mathcal{D}_x^\alpha Y = Y X'' + Y \frac{k}{x} X' \Rightarrow \frac{\mathcal{D}_x^\alpha Y}{Y} = \frac{X'' + \frac{k}{x} X'}{X} = -\lambda^2.$$

Тогда получим уравнение $X'' + \frac{k}{x} X' + \lambda^2 x = 0$. Используем граничные условия

(3):

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^k u_x(x, t) = \lim_{x \rightarrow 0} x^k X'(x) Y(t) = Y(t) \lim_{x \rightarrow 0} x^k X'(x) = 0 \Rightarrow \lim_{x \rightarrow 0} x^k X'(x) = 0, \quad u(l, t) = X(l) Y(t) = 0 \Rightarrow X(l) = 0.$$

Соответственно, получаем следующую спектральную задачу:

$$X'' + \frac{k}{x} X' + \lambda^2 X = 0, \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^k X'(x) = 0, \quad X(l) = 0. \quad (5)$$

Если в уравнении (4) введем замену:

$$X = x^{\frac{1-k}{2}} z(\xi), \quad \xi = \lambda x, \quad (6)$$

то получим

$$\xi^2 z''(\xi) + \xi z'(\xi) + (\xi^2 - \nu^2) z(\xi) = 0, \quad \nu^2 = \left(\frac{k-1}{2}\right)^2. \quad (7)$$

Решение уравнения Бесселя (7) представляется следующим образом:

$$z(\xi) = P_1 J_\nu(\xi) + P_2 J_{-\nu}(\xi). \quad (8)$$

Воспользовавшись уравнением (8), решение уравнения (4) представляется следующим образом:

$$X(x) = P_1 x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{k-1}{2}}(\lambda x) + P_2 x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{1-k}{2}}(\lambda x).$$

Затем, применив условия (3), получаем следующее выражение:

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^k X'(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \left(-P_1 \lambda x^{\frac{1+k}{2}} J_{\frac{k+1}{2}}(\lambda x) + P_2 \lambda x^{\frac{1+k}{2}} J_{\frac{k+1}{2}}(\lambda x) \right) = 0.$$

Для выполнения условия (5) должно выполняться следующее:

$P_1 \neq 0, P_2 = 0$ (в противном случае не будет удовлетворена первая часть равенства (5)).

Отсюда получаем:

$$X = P_1 x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{k-1}{2}}(\lambda x),$$

а из второй части (5) получаем:

$$x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{k-1}{2}}(\lambda l) = 0, \quad (9)$$

Из условия $k \in (-1, 0)$ следует, что все решения уравнения (9) состоят из упорядоченно-положительных чисел. Также отметим, что для нулей уравнения (9), согласно [2], при больших n справедлива асимптотическая формула.

$$\mu_n = \pi n + \frac{\pi}{2} k - \frac{\pi}{4}.$$

Для удобства обозначим их как μ_n $n = 1, 2, 3, \dots$, $\lambda_n = \frac{\mu_n}{l}$. Тогда отсюда

получим

$$X_n(x) = P_1 x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{k-1}{2}}(\lambda_n x) = P_1 x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{k-1}{2}}\left(\frac{\mu_n}{l} x\right). \quad (10)$$

Для удобства коэффициент P_1 выберем так, чтобы $||X_n(x)|| = 1$. Например,

$$P_1 = \left(\int_0^l x J_{\frac{k-1}{2}}^2(\lambda_n x) dx \right)^{-\frac{1}{2}} = \left(\int_0^l x J_{\frac{k-1}{2}}^2(\lambda_n x) dx \right)^{-\frac{1}{2}},$$

$$X_n(x) = \frac{x^{\frac{1-k}{2}} J_{\frac{k-1}{2}}(\lambda_n x)}{\left(\int_0^l x J_{\frac{k-1}{2}}^2(\lambda_n x) dx \right)^{-\frac{1}{2}}}. \quad (11)$$

Лемма 1. Последовательность $\{X_n(x)\}^\infty$ является полной ортонормированной системой в пространстве $\mathcal{L}_2[0, l]$.

Строим решение задачи (1)-(3) в виде ряда Фурье–Бесселя, то есть:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(t) X_n(x). \quad (12)$$

После этого, учитывая равенство (12), из уравнения (1) получим следующее обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\mathcal{D}_t^\alpha u_n + \lambda_n^2 u_n = f_n(t), \quad (13)$$

и условию

$$u_n(T) = \varphi_n, \quad (14)$$

где

$$\begin{cases} u_n(t) = \int_0^t u(x, t) x^k X_n(x) dx, \\ f_n(t) = \int_0^t f(x, t) x^k X_n(x) dx, \\ \varphi_n = \int_0^t \varphi(x) x^k X_n(x) dx, \end{cases} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

Таким образом, мы пришли к обыкновенным дробным дифференциальным уравнениям (13) относительно неизвестных функций $u_n(t)$ с условиями (14). Для их решения будем использовать формальное применение преобразования Лапласа. В результате получим следующее выражение:

$$s^\alpha \tilde{u}_n(s) - s^{\alpha-1} u_n(0) + \lambda_n^2 \tilde{u}_n(s) = \tilde{f}_n(s), \quad (16)$$

где

$$\tilde{u}_n(s) = L[u_n(t)], \quad \tilde{f}_n(s) = L[f_n(t)].$$

Решая уравнение (16) получим

$$\tilde{u}_n = \frac{u_n(0)s^{\alpha-1}}{s^\alpha + \lambda_n^2} + \frac{f_n(s)}{s^\alpha + \lambda_n^2}. \quad (17)$$

Применив обратное преобразование Лапласа к формуле (17), как показано в книге [1], получим решение уравнения (13), которое удовлетворяет условию (14), в следующем виде:

$$u_n(t) = u_n(0) E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 t^\alpha) + \int_0^t (t-\tau)^{\alpha-1} E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 (t-\tau)^\alpha) f_n(\tau) d\tau. \quad (18)$$

Отсюда находим, что

$$u_n(0) = (E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 T^\alpha))^{-1} \left(\varphi_n - \int_0^T (T-\tau)^{\alpha-1} E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 (T-\tau)^\alpha) f_n(\tau) d\tau \right). \quad (19)$$

Тогда решение $u_n(t)$ можно записать в следующем виде:

$$u_n(t) = \left(\varphi_n - \int_0^T (T-\tau)^{\alpha-1} E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 (T-\tau)^\alpha) f_n(\tau) d\tau \right) \frac{E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 t^\alpha)}{E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 T^\alpha)} + \int_0^t (t-\tau)^{\alpha-1} E_{\alpha, \alpha}(-\lambda_n^2 (t-\tau)^\alpha) f_n(\tau) d\tau. \quad (20)$$

Лемма 2: Для достаточно больших n справедлива следующая оценка:

$$|u_n(t)| \leq |\varphi_n| + C \|f_n\|_{C[0, T]} T^\alpha + C \|f_n\|_{C[0, T]} t^\alpha, \quad (21)$$

$$|\mathcal{D}_t^\alpha u_n(t)| \leq \lambda_n^2 |\varphi_n| + C \lambda_n^2 \|f_n\|_{C[0, T]} T^\alpha + C \lambda_n^2 \|f_n\|_{C[0, T]} t^\alpha + |f_n(t)|, \quad (22)$$

где C — положительная константа.

На основании найденных частных решений (20) и (11) решение задачи (1)-(3) запишем формально в виде ряда Фурье–Бесселя

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) u_n(t). \quad (23)$$

Вместе с рядом (23) рассмотрим следующие ряды:

$$u_x(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} X'_n(x) u_n(t), \quad (24)$$

$$u_{xx}(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} X''_n(x) u_n(t), \quad \mathcal{D}_t^\alpha u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) \mathcal{D}_t^\alpha u_n(t). \quad (25)$$

Докажем равномерную сходимость рядов (24) и (25) в области $\overline{\Omega}_T$, если функции $\varphi(x)$ и $f(x, t)$ подчиняются некоторым дополнительным условиям.

Лемма 3: (см. [3]) Для достаточно больших n и для всех $x \in [0, l]$ выполнена оценки:

$$|X_n(x)| \leq C, \quad |X_n(x)| \leq C\lambda_n, \quad |X_n(x)| \leq C\lambda_n^2. \quad (26)$$

Если воспользоваться приведёнными выше леммами, то для каждой точки $(x, t) \in \Omega_T$ функциональные ряды (23), (24) и (25) могут быть мажорированы следующими числовыми рядами.

$$C_1 \sum_{n=1}^{\infty} (\varphi_n + \|f_n\|_{C([0, T])}), \quad (27)$$

$$C_2 \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n (\varphi_n + \|f_n\|_{C([0, T])}) \quad (28)$$

и

$$C_3 \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n^2 (\varphi_n + \|f_n\|_{C([0, T])}). \quad (29)$$

Теорема 1: Пусть функции $\varphi(x)$ и $f(x, t)$ определены и $\varphi(x) \in C^4([0, l])$ и $f(x, t) \in C^{4,1}([0, l] \times [0, T])$, причем

$$1) \quad x^{\frac{k-1}{2}} \varphi(x) \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d}{dx} \left(x^{\frac{k-1}{2}} \varphi(x) \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d^2}{dx^2} \left(x^{\frac{k-1}{2}} \varphi(x) \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad (30)$$

$$x^{\frac{k-1}{2}} f(x, t) \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d}{dx} \left(x^{\frac{k-1}{2}} f(x, t) \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{d^2}{dx^2} \left(x^{\frac{k-1}{2}} f(x, t) \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad (31)$$

$$2) \quad x^{\frac{k-1}{2}} \varphi(x) \Big|_{x=l} = 0, \quad \frac{d}{dx} \left(x^{\frac{k-1}{2}} \varphi(x) \right) \Big|_{x=l} = 0, \quad (32)$$

$$x^{\frac{k-1}{2}} f(x, t) \Big|_{x=l} = 0, \quad \frac{d}{dx} \left(x^{\frac{k-1}{2}} f(x, t) \right) \Big|_{x=l} = 0. \quad (33)$$

Тогда для коэффициентов Фурье-Бесселя функции $\varphi(x)$ и $f(x, t)$ справедливо неравенство

$$|\varphi_n| \leq \frac{C}{\lambda_n^{5/2}}, \quad |f_n(t)| \leq \frac{C}{\lambda_n^{5/2}}. \quad (34)$$

Доказательство теоремы 1 следует из книги [2], параграф 6, теорема 1, стр. 283.

Теорема 2: Если функции $\varphi(x)$ и $f(x, t)$ удовлетворяют условиям теоремы, то существует единственное решение $u(x, t)$ задачи (1)-(3), определяемое рядом (23), при этом $u(x, t) \in C_{x,t}^{(2,1)}(\Omega_T)$.

Доказательство теоремы 2 будет аналогично доказательству, приведённому в работе [3].

Список использованной литературы

1. A.A. Kilbas, H.M. Srivastava, J.J. Trujillo. *Theory and Applications of Fractional Differential Equations*. (Amsterdam, Elsevier, 2006).
2. Толстов Г.П. Ряды Фурье. - Москва, Наука, 1980.
3. Сабитов К. Б., Зайцева Н. В. Вторая начально-граничная задача для В- гиперболического уравнения, Изв. вузов. Матем., 2019, номер 10, 75–86 DOI: 10.26907/0021-3446-2019-10-75-86
4. Сабитов К. Б., Зайцева Н. В. Начальная задача для В-гиперболического уравнения с интегральным условием второго рода. - Дифференц. уравнения, 54:1 (2018), 123–135
5. Пулькин С. П. О единственности решения сингулярной задачи Геллерстедта. Изв. вузов. Матем., 1960, № 6, 214–225
6. Хасанов И.И., Акрамова Д.И., Рахмонов А.А. Исследование задачи Коши для одного уравнения дробного порядка с оператором Римана-Лиувилля. // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. 2023. Т. 27, № 1. <https://doi.org/10.14498/vsgtu1952>.
7. Дурдиев У.Д. Задача об определении коэффициента реакции с дробным уравнением диффузии. // Диф. Урав., 2021, том 57, № 9, с. 1220- 1229.

8. Durdiev D.K., Jumaev J.J. Inverse Coefficient Problem for a TimeFractional Diffusion Equation in the Bounded Domain. // Lobachevskii Journal of Mathematics vol. 44, pp. 548-557, (2023).

9. Дурдиев Д.К. Об определении коэффициента уравнения смешанного парабологиперболического типа с нехарактеристической линией изменения. // Диф. Урав., 2022, том 58, № 12, с. 1633-1644.

10. Mathai A.M., Saxena R.K., Haubold H.J.: The H-function. // Theory and applications. Springer, Dordrecht (2010) 269 p.

IKKI AGRUMENTLI MITTAG-LEFFLER TIPIDAGI FUNKSIYASINING BIR KASR TARTIBLI INTEGRO-DIFFERENSIAL TENGLAMA UCHUN QO'YILGAN KOSHI MASALASIGA TATBIQI HAQIDA

Usmonov Doniyor Abdumutolib o'g'li

Farg'ona davlat universiteti katta o'qituvchisi

Omonova Adibaxon Numonjon qizi

Farg'ona davlat universiteti talabasi

usmonov-doniyor@inbox.ru

adibaxonomonova@gmail.com

ORCID 0000-0002-3574-075X

UDK.517.91

Annottatsiya. Ushbu maqolada bir kasr tartibli integro-differensial tenglama uchun qo'yilgan Koshi masalasi o'rganilgan. Qaralayotgan tenglamada kasr tartibli Kaputo ma'nosidagi differensial operator va kasr tartibli Rimal-Liuvill ma'nosidagi integral operator qatnashgan. Qo'yilgan masalaning yechimini topish uchun, berilgan tenglamaga Riman-Liuvill ma'nosidagi kasr tartibli integral operatorni ta'sir ettirib, kasr tartibli differensial va integral operatorlarning xossalariidan hamda boshlang'ich shartdan foydalanib, uni ikkinchi tur Volterra integral tenglamasiga ekvivalent keltirilgan. Bu integral tenglamani ketma-ket yaqinlashish usuli yordamida yechimi topilgan. Topilgan yechim ikki argumentli Mittag-Leffler tipidagi funksiyasi yordamida ifodalangan. Bu funksiyani absolyut va tekis yaqinlashishi isbotlangan. Undan tashqari bu funksiyaning differensiallash va integrallash formulalari topilgan. Ikki argumentli Mittag-Leffler tipidagi funksiyasi xossalariidan foydalanib, masalaning yechim formulasi topilgan. Topilgan yechim ikki argumentli Mittag-Leffler tipidagi funksiyasining differensiallash va integrallash formulalaridan foydalanib tenglamani va boshlang'ich shartni qanoatlantirishi isbotlangan.

Kalit so'zlar: ikki argumentli Mittag-Leffler funksiya; kasr tartibli integral; kasr tartibli hosila; Koshi masalasi.

ON THE APPLICATION OF THE TWO-VARIABLE MITTAG-LEFFLER TYPE FUNCTION TO THE CAUCHY PROBLEM FOR A FRACTIONAL- ORDER INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION

Abstract. In this article, the Cauchy problem for a fractional-order integro-differential equation is studied. The considered equation involves a differential operator in the Caputo fractional sense and an integral operator in the Riemann-Liouville fractional sense. To find the solution to the given problem, the Riemann-Liouville fractional integral operator is applied to the equation, and by utilizing the properties of fractional differential and integral operators along with the initial condition, the equation is reduced to an equivalent second-kind Volterra integral equation. The solution to this integral equation is obtained using the method of successive approximations. The derived solution is expressed in terms of a two-parameter Mittag-Leffler-type function, and its absolute and uniform convergence is proven. Furthermore, differentiation and integration formulas for this function are derived. By employing the properties of the two-parameter Mittag-Leffler-type function, an explicit solution formula for the problem is obtained. It is proven that the obtained solution satisfies both the equation and the initial condition by using the differentiation and integration formulas of the two-parameter Mittag-Leffler-type function.

Keywords: two-parameter Mittag-Leffler function; fractional integral; fractional derivative; Cauchy problem.

Kirish. Kasr tartibli differensial va integro-differensial tenglamalar zamonaviy matematikada keng qo'llaniladigan muhim obyektlardan biridir. Ular fizika, kimyo, biologiya, muhandislik va iqtisodiyot kabi turli sohalarida qo'llaniladi. Kasr tartibli operatorlar orqali modellashtirilgan jarayonlar aniqroq va real hayotga yaqinroq bo'ladi. Shu sababli, kasr tartibli tenglamalarni yechish usullari va ularning qo'llanilishi bo'yicha tadqiqotlar katta ahamiyatga ega [1]-[6].

Kasr tartibli differensial tenglamalar (KDT) oddiy differensial tenglamalarning

umumlashtirilgan shakli bo'lib, ular orqali aniqroq va real hayotga yaqinroq modellar yaratish mumkin. KDTlarning asosiy xususiyati shundaki, ular tizimning o'tmishdagi holatini hisobga oladi, ya'ni tizimning xotira effektini aks ettiradi. Bu xususiyat KDTlarni fizikaviy, kimyoviy va biologik jarayonlarni modellashirishda juda qo'llaniladigan qiladi [4]-[6].

Shu sababdan so'nggi yillarda kasr tartibli differensial operatorlar qatnashgan tenglamalarga bo'lgan qiziqish ortgan. Bunday tenglamalar uchun masalalar qo'yish va ularni o'rganish hozirgi kunning dolzarb yo'nalishlaridan biridir. Yuqoridagilarga asosan biz ushbu maqolada bir kasr tartibli integro-differensial tenglama uchun qo'yilgan Koshi masalasini o'rganamiz.

Tadqiqot metodologiyasi. $(0, p)$ oraliqda ushbu

$${}^c D_{0x}^\alpha y(x) - a I_{0x}^\beta y(x) - b y(x) = f(x) \quad (1)$$

kasr tartibli operatorlarni o'z ichiga olgan integro-differensial tenglamani qaraylik, bu yerda p, α, β, a, b -berilgan haqiqiy sonlar bo'lib, $p > 0$, $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$, $y(x)$ - noma'lum funksiya, $f(x)$ -berilgan funksiya,

$${}^c D_{0x}^\alpha y(x) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^x (x-z)^{-\alpha} y'(z) dz$$

-Kaputo ma'nosidagi hosila [1], [2],

$$I_{0x}^\beta y(x) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^x (x-z)^{\beta-1} y(z) dz$$

-Riman-Liuvill ma'nosidagi integral [1], [2], $\Gamma(z)$ -Eylerning gamma funksiyasi [1], [2].

K masala. (1) tenglamani va

$$y(0) = A \quad (2)$$

boshlang'ich shartni qanoatlantiruvchi shunday $y(\cdot) \in C[0, p] \cap C^1(0, p)$ funksiya topilsin, bu yerda A berilgan haqiqiy son.

(1) tenglamaga I_{0x}^α operatorni ta'sir ettirib, $I_{0x}^\alpha {}^c D_{0x}^\alpha y(x) = y(x) - y(0)$, $I_{0x}^\alpha I_{0x}^\beta y(x) = I_{0x}^{\alpha+\beta} y(x)$ [2] tengliklardan va (2) shartdan foydalanib,

$$y(x) - a I_{0x}^{\alpha+\beta} y(x) - b I_{0x}^\alpha y(x) = I_{0x}^\alpha f(x) + A \quad (3)$$

tenglamani hosil qilamiz. (3) tenglama ikkinchi tur Volterra integral tenglamasi bo'lganligi uchun uni ketma-ket yaqinlashish usuli bilan yechamiz.

Quyidagi belgilashni va rekurent formulami qaraylik:

$$y_0(x) = I_{0x}^\alpha f(x) + A \text{ va } \gamma = \alpha + \beta$$

$$y_m(x) = y_0 + a I_{0x}^\gamma y_{m-1}(x) + b I_{0x}^\alpha y_{m-1}(x), m \in N \quad (4)$$

Dastlab, $m=1$ bo'lsin. (4) formuladan $y_1(x)$ ni topamiz:

$$y_1(x) = y_0 + a I_{0x}^\gamma y_0(x) + b I_{0x}^\alpha y_0(x) \quad (5)$$

Endi (4) formulada $m=2$ deb, $y_2(x)$ ni topamiz:

$$y_2(x) = y_0(x) + a I_{0x}^\gamma y_1(x) + b I_{0x}^\alpha y_1(x)$$

(5) va $I_{0x}^\alpha I_{0x}^\beta = I_{0x}^{\alpha+\beta}$ [1] ekanligidan foydalanib, $y_2(x)$ ni

$$y_2(x) = y_0(x) + a I_{0x}^\gamma y_0(x) + b I_{0x}^\alpha y_0(x) + a^2 I_{0x}^{2\gamma} y_0(x) + 2ab I_{0x}^{\alpha+\gamma} y_0(x) + b^2 I_{0x}^{2\alpha} y_0(x) \quad (6)$$

ko'rinishda yozib olamiz.

Yuqoridagilardan foydalanib, $y_m(x)$ ni

$$y_m(x) = y_0 + \sum_{j=0}^1 C_1^j a^{1-j} b^j I_{0x}^{\gamma(1-j)+\alpha j} y_0(x) + \sum_{j=0}^2 C_2^j a^{2-j} b^j I_{0x}^{\gamma(2-j)+\alpha j} y_0(x) + \dots + \sum_{j=0}^m C_m^j a^{m-j} b^j I_{0x}^{\gamma(m-j)+\alpha j} y_0(x)$$

ko‘rinishda topamiz. Bu yerda $C_n^j = \frac{n!}{j!(n-j)!}$.

Oxirgi tenglikni

$$y_m(x) = \sum_{n=0}^m \sum_{j=0}^n C_n^j a^{n-j} b^j I_{0x}^{\gamma(n-j)+\alpha j} y_0(x) \quad (7)$$

ko‘rinishda yozib olamiz.

Integral tenglamalar nazariyasidan [7] foydalanib, (8) da $m \rightarrow \infty$ da $y_m(x)$ funksiya $y(x)$ funksiyaga intiladi. Bundan (3) integral tenglamaning yechimini

$$y(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{j=0}^n C_n^j a^{n-j} b^j I_{0x}^{\gamma(n-j)+\alpha j} y_0(x) \quad (8)$$

ko‘rinishda topamiz.

Endi

$$\sum_{k=0}^{+\infty} \sum_{n=0}^k U_{k,n} = \sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{k=n}^{+\infty} U_{k,n}$$

formuladan foydalanib, (8) ni

$$y(x) = \sum_{j=0}^{+\infty} \sum_{n=j}^{+\infty} C_n^j a^{n-j} b^j I^{\gamma(n-j)+\alpha j} y_0(x)$$

ko‘rinishda yozib olamiz. Bu yerda $n = j + k$ deb oxirgi tenglikni

$$y(x) = \sum_{j=0}^{+\infty} \sum_{k=0}^{+\infty} C_{k+j}^j a^k b^j I^{\gamma k + \alpha j} y_0(x) \quad (9)$$

ko‘rinishda yozib olamiz.

Endi $y_0(x) = A + I_{0x}^{\alpha} f(x)$ ni (9) ga qo‘yib, ba’zi hisoblashlarni amalga oshirib, (3) integral yechimini

$$y(x) = A \sum_{j=0}^{+\infty} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{a^k x^{\lambda k} b^j x^{\alpha j} \Gamma(k+j+1)}{\Gamma(\gamma k + \alpha j + 1) \Gamma(j+1) \Gamma(k+1)} + \int_0^x (x-z)^{\alpha-1} f(z) \sum_{j=0}^{+\infty} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\Gamma(k+j+1) a^k (x-z)^{\gamma k + \alpha j} b^j}{\Gamma(\gamma k + \alpha j + \alpha) \Gamma(j+1) \Gamma(k+1)} dz \quad (10)$$

ko‘rinishda yozib olamiz.

Natijalar va muhokama. Endi ikki argumentli Mittag-Leffler funksiyasini qaraylik

$$E_2 \left(\begin{matrix} \gamma_1, \alpha_1, \beta_1; \gamma_2, \alpha_2; \\ \delta_1, \alpha_3, \beta_2; \delta_2, \alpha_4; \delta_3, \beta_3; \end{matrix} \middle| x \right) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\gamma_1)_{\alpha_1 m + \beta_1 n} (\gamma_2)_{\alpha_2 m}}{\Gamma(\delta_1 + \alpha_3 m + \beta_2 n) \Gamma(\delta_2 + \alpha_4 m) \Gamma(\delta_3 + \beta_3 m)} \frac{x^m}{\Gamma(\delta_1 + \alpha_3 m + \beta_2 n)} \frac{y^n}{\Gamma(\delta_2 + \alpha_4 m) \Gamma(\delta_3 + \beta_3 m)} \quad (11)$$

bu yerda $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \gamma_1, \gamma_2, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ - berilgan haqiqiy sonlar,

$$(\gamma_1)_{\alpha_1 m + \beta_1 n} = \frac{\Gamma(\gamma_1 + \alpha_1 m + \beta_1 n)}{\Gamma(\gamma_1)}.$$

Ko‘rsatish qiyin emaski, bu qator $\alpha_3 + \alpha_4 - \alpha_1 - \alpha_2 > 0$ va $\beta_2 + \beta_3 - \beta_1 > 0$ bo‘lsa, $\forall (x, y)$ lar uchun absolyut va tekis yaqinlashuvchi bo‘ladi. Ko‘rsatish qiyin emaski, E_2 funksiya uchun quyidagi tengliklar o‘rinli:

$$I_{0x}^{\beta} \left(E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ 1, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| ax^{\gamma} \right) \right) = x^{\beta} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ 1 + \beta, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| ax^{\gamma} \right), \quad (12)$$

$${}^c D_{0x}^{\alpha} \left(E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ 1, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| ax^{\gamma} \right) \right) = b E_{\alpha, 1}(bx^{\alpha}) + ax^{\gamma-\alpha} E \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0; \\ 1 + \gamma - \alpha, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| bx^{\alpha} \right), \quad (13)$$

$$E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ 1, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) = E_{\alpha, 1} (bx^\alpha) + ax^\gamma E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0 \\ \gamma + 1, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\beta \end{matrix} \right), \quad (14)$$

$$ax^{\gamma-\alpha} E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0; \\ 1 + \gamma - \alpha, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) - ax^{\gamma-\alpha} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0 \\ 1 + \gamma - \alpha, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) = \\ = abx^\gamma E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0; \\ 1 + \gamma, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right), \quad (15)$$

$$I_{0x}^\beta \left(\int_0^x (x-z)^{\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a(x-z)^\gamma \\ b(x-z)^\alpha \end{matrix} \right) f(z) dz \right) = \\ = \int_0^x (x-z)^{\gamma-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0 \\ \gamma, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a(x-z)^\gamma \\ b(x-z)^\alpha \end{matrix} \right) f(z) dz, \quad (16)$$

$${}^c D_{0x}^\alpha \left(\int_0^x (x-z)^{\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a(x-z)^\gamma \\ b(x-z)^\alpha \end{matrix} \right) f(z) dz \right) = \\ = f(x) + \int_0^x b(x-z)^{\alpha-1} E_{\alpha, \alpha} [b(x-z)^\alpha] f(z) dz + \\ + \int_0^x a(x-z)^{\gamma-1} E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0 \\ \gamma, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} (x-z)^\gamma \\ (x-z)^\alpha \end{matrix} \right) f(z) dz, \quad (17)$$

$$x^{\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) = \\ = x^{\alpha-1} E_{\alpha, \alpha} [bx^\alpha] + ax^{\gamma+\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha + \gamma, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right), \quad (18)$$

$$ax^{\gamma-1} E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0 \\ \gamma, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) - ax^{\gamma-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0 \\ \gamma, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) = \\ = abx^{\gamma+\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 2, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha + \gamma, \gamma, \alpha; 2, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right). \quad (19)$$

Endi (11) dan foydalanib, (10) ni

$$y(x) = A \cdot E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ 1, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a \cdot x^\gamma \\ b \cdot x^\alpha \end{matrix} \right) + \\ + \int_0^x (x-z)^{\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a \cdot (x-z)^\gamma \\ b \cdot (x-z)^\alpha \end{matrix} \right) f(z) dz \quad (20)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

Teorema. Agar $f(x) = x^{-q} f_1(x)$, $f_1(x) \in C[0, p]$, $0 \leq q < \alpha$ bo'lsa u holda K masalaning yagona yechimi (12) ko'rinishda bo'ladi.

Isbot. Dastlab (20) ni $y(x) = y_1(x) + y_2(x)$ ko'rinishida yozib olamiz, bu yerda

$$y_1(x) = A \cdot E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ 1, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a \cdot x^\gamma \\ b \cdot x^\alpha \end{matrix} \right) \quad (21)$$

$$y_2(x) = \int_0^x (x-z)^{\alpha-1} E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0; \\ \alpha, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} a(x-z)^\gamma \\ b(x-z)^\alpha \end{matrix} \right) f(z) dz. \quad (22)$$

Avval $y_1(x)$ ni (1) tenglamaning mos bir jinsli tenglamasini qanoatlantirishini ko'rsatamiz. Buning uchun (12) formuladan foydalanib $I_{0x}^\beta y_1(x)$ ni

$$I_{0x}^\beta y_1(x) = Ax^\beta E_2 \left(\begin{matrix} 1, 1, 1; 1, 0 \\ \beta + 1, \gamma, \alpha; 1, 1, 1, 1; \end{matrix} \middle| \begin{matrix} ax^\gamma \\ bx^\alpha \end{matrix} \right) \quad (23)$$

ko'rinishda topamiz.

Endi ${}^c D_{0x}^\alpha y_1(x)$ hisoblaylik. Buning uchun (13) formuladan foydalanib ${}^c D_{0x}^\alpha y_1(x)$ ni

$${}^c D_{0x}^\alpha y_1(x) = AbE_{\alpha,1}(bx^\alpha) + Aax^{\gamma-\alpha}E_2\left(\begin{matrix} 2,1,1;1,0; \\ 1+\gamma-\alpha+,\gamma,\alpha,2,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{ax^\alpha}{bx^\beta}\right) \quad (24)$$

Endi (21), (23) va (24) larni (1) tenglamaga qo'yamiz:

$$\begin{aligned} & {}^c D_{0x}^\alpha y_1(x) - aI_{0x}^\alpha y_1(x) - by_1(x) = A \cdot E_{\alpha,1}(b \cdot x^\alpha) + \\ & + A \cdot a \cdot x^{\gamma-\alpha} \cdot E_2\left(\begin{matrix} 2,1,1;1,0; \\ \gamma-\alpha+1,\gamma,\alpha;2,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{a \cdot x^\gamma}{b \cdot x^\alpha}\right) - \\ & - A \cdot a \cdot x^{\gamma-\alpha} \cdot E_2\left(\begin{matrix} 1,1,1;1,0; \\ \gamma-\alpha+1,\gamma,\alpha;1,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{a \cdot x^\gamma}{b \cdot x^\alpha}\right) - A \cdot b \cdot E_{\alpha,1}(b \cdot x^\alpha) - \\ & - A \cdot b \cdot x^\gamma \cdot E_2\left(\begin{matrix} 2,1,1;1,0; \\ \gamma+1,\gamma,\alpha;2,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{a \cdot x^\gamma}{b \cdot x^\alpha}\right) = 0 \end{aligned}$$

(14) va (15) lardan foydalansak, oxirgi tenglikdan

$${}^c D_{0x}^\alpha y_1(x) - aI_{0x}^\beta y_1(x) - by_1(x) = 0$$

ekanligi kelib chiqadi. Bundan $y_1(x)$ funksiya tenglamaga mos bir jinsli tenglamani qanoatlantirishi kelib chiqadi

Endi $y_2(x)$ ni (1) tenglamani qanoatlantirishini ko'rsatamiz. Buning uchun (16) formuladan foydalanib $I_{0x}^\beta y_2(x)$ ni

$$I_{0x}^\beta y_2(x) = \int_0^x (x-z)^{\gamma-1} \cdot f(z) \cdot E_2\left(\begin{matrix} 1,1,1;1,0 \\ \gamma,\gamma,\alpha;1,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{a \cdot (x-z)^\gamma}{b \cdot (x-z)^\alpha}\right) dz \quad (25)$$

ko'rinishda topamiz.

Endi ${}^c D_{0x}^\alpha y_2(x)$ hisoblaylik. Buning uchun (17) formuladan foydalanib ${}^c D_{0x}^\alpha y_2(x)$ ni

$$\begin{aligned} {}^c D_{0x}^\alpha y_2(x) &= f(x) + \int_0^x b \cdot (x-z)^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}[b(x-z)^\alpha] \cdot f(z) dz + \\ &+ \int_0^x f(z) \cdot E_2\left(\begin{matrix} 2,1,1;1,1 \\ \gamma,\gamma,\alpha;2,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{(x-z)^\gamma}{(x-z)^\alpha}\right) dz \end{aligned} \quad (26)$$

Yuqorida topilgan (22), (25), (26) larni (1) tenglamaga olib borib qo'yamiz:

$$\begin{aligned} & {}^c D_{0x}^\alpha y_2(x) - aI_{0x}^\beta y_2(x) - by_2(x) = f(x) + \\ & \int_0^x b \cdot (x-z)^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}[b(x-z)^\alpha] \cdot f(z) dz + \\ & + a(x-z)^{\gamma-1} \int_0^x E_2\left(\begin{matrix} 2,1,1;1,1 \\ \gamma,\gamma,\alpha;2,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{(x-z)^\gamma}{(x-z)^\alpha}\right) f(z) dz - \\ & - \int_0^x a(x-z)^{\gamma-1} f(z) E_2\left(\begin{matrix} 1,1,1;1,0 \\ \gamma,\gamma,\alpha;1,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{a(x-z)^\gamma}{b(x-z)^\alpha}\right) dz - \\ & - \int_0^x b(x-z)^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}[b(x-z)^\alpha] f(z) dz - \\ & - \int_0^x ab(x-z)^{\gamma+\alpha-1} E_2\left(\begin{matrix} 2,1,1;1,0; \\ \alpha+\gamma,\gamma,\alpha;2,1;1,1 \end{matrix} \middle| \frac{a(x-z)^\gamma}{b(x-z)^\alpha}\right) f(z) dz \end{aligned}$$

Endi (19) formuladan foydalansak, oxirgi tenglikdan

$${}^c D_{0x}^\alpha y_2(x) - aI_{0x}^\beta y_2(x) - by_2(x) = f(x)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Masala yechimining yagonaligi esa integral tenglamalar nazariyasidan kelib chiqadi [3].

Teorema isbotlandi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari kasr tartibli operatorlar nazariyasiga hissa qo'shadi va amaliy masalalarni yechishda qo'llanilishi mumkin. Masalan, kasr tartibli tenglamalar materialshunoslikda, seismologiyada, biologik tizimlarni modellashtirishda va boshqa ko'plab sohalarida qo'llaniladi. Maqolada keltirilgan usullar va natijalar fizika, kimyo, biologiya va muhandislik sohalaridagi kasr tartibli jarayonlarni modellashtirishda foydali hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. I. Podlubny (1999). Fractional Differential Equations. Academic Press.
2. A. A. Kilbas, H. M. Srivastava, J. J. Trujillo. (2006). Theory and Applications of Fractional Differential Equations. Elsevier.
3. S. G. Samko, A. A. Kilbas, O. I. Marichev. (1993). Fractional Integrals and Derivatives: Theory and Applications. Gordon and Breach Science Publishers.
4. F. Mainardi. (2010). Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity. Imperial College Press.
5. R. Gorenflo, F. Mainardi, (1997). Fractional Calculus: Integral and Differential Equations of Fractional Order. Fractals and Fractional Calculus in Continuum Mechanics. Springer.
6. I. Podlubny. (2002). Geometric and Physical Interpretation of Fractional Integration and Fractional Differentiation. Fractional Calculus and Applied Analysis, Vol. 5. Issue 4, pp. 367-386.
7. S. G. Mikhlin. (1964). Integral Equations and Their Applications to Certain Problems in Mechanics, Mathematical Physics and Technology. Pergamon Press.
8. A. K. Urinov, D. A. Usmonov, "Non-local initial-boundary value problem for a degenerate fourth-order equation with a fractional Gerasimov-Caputo derivative", *Vestnik KRAUNC. Fiz.-Mat. Nauki*, **42**:1 (2023), 123–139.
9. Karimov, E.T., Tokmagambetov, N.E. & Usmonov, D.A. Inverse-Initial Problem for Time-Degenerate PDE Involving the Bi-Ordinal Hilfer Derivative. *Cybern Syst Anal* **60**, 799–809 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10559-024-00717-z>
10. Usmonov D. A non-local boundary-value problem for a second-order partial differential equation of mixedtype degenerating inside and on the bound of the domain. *Bull. Inst. Math.*, 2023, Vol.6, No 1, pp. 154-165.

ION -PLAZMA USULI YORDAMIDA Mn_4Si_7 NANOPLYONKASINI HOSIL QILISH VA UNING TERMoeLEKTRIK VA ELEKTROFIZIK XOSSALARINI O'RGANISH**Bekpulatov Ilhom**

Qarshi Davlat Universiteti, DSc

Norboyeva Feruza

Qarshi Davlat Universiteti, talaba

feruzanorboyeva8@gmail.com

ORCID 0000-0001-7955-3932

UDK 621.52

Annotatsiya. Bugungi kunda nanoplyonkalarni yaratish hamda ularning termoelektrik, elektrofizik, magnit va optik xossalarini chuqur tadqiq etish ilm-fan oldida turgan dolzarb yo'nalishlardan biriga aylanib bormoqda. Maqolada polikristall tuzilishga ega bo'lgan Mn_4Si_7 (Oliy marganes silisidi) yupqa plyonkaning ion-plazma usuli orqali magnetron changlatish qurilmasi yordamida vakuumda hosil qilinishi va uning termoelektrik xossalari haroratga bog'liq holda tadqiq etilgan. Mn_4Si_7 nanoplyonkasi ma'lum haroratgacha qizdirilib, uning mikrostrukturasi va morfologik xususiyatlari skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida tahlil qilindi. To'rt zondli usulda ishlaydigan (HMS-5000) qurilmada yupqa plyonkaning termoelektrik va elektrofizik parametrlari o'lchandi. Olingan natijalar Mn_4Si_7 plyonkasining termoelektrik material sifatida amaliy ahamiyatga ega ekanligini hamda ion-plazma usuli bilan tayyorlangan plyonkalarining struktura va elektr xossalari termik ishlov bilan sezilarli darajada boshqarilishi mumkinligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Marganes silisidi, ion-plazma usuli, magnetron changlatish qurilmasi, Zeebek effektri, solishtirma qarshilik, elektrofizik parametrlar.

FABRICATION OF Mn_4Si_7 NANOFILMS BY ION-PLASMA METHOD AND INVESTIGATION OF THEIR THERMOELECTRIC AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES.

Abstract. At present, the development of nanofilms and the comprehensive study of their thermoelectric, electrophysical, magnetic, and optical properties have emerged as one of the key areas of contemporary scientific inquiry. In this study, a polycrystalline Mn_4Si_7 (higher manganese silicide) thin film was fabricated in vacuum using the ion-plasma method via a magnetron sputtering system, and its thermoelectric properties were investigated as a function of temperature. The Mn_4Si_7 nanofilm was heated up to a certain temperature, and its microstructure and morphological characteristics were analyzed using a scanning electron microscope (SEM). The thermoelectric and electrophysical parameters of the thin film were measured using the four-probe method with an HMS-5000 system. The obtained results demonstrate that Mn_4Si_7 films have practical significance as thermoelectric materials, and that the structural and electrical

properties of films prepared by the ion-plasma method can be significantly controlled through thermal treatment.

Keywords: Manganese silicide, ion-plasma method, magnetron sputtering, Seebeck effect, electrical resistivity, electrophysical parameters.

Kirish. Hozirgi kunda nanoplyonkalarni hosil qilish hamda ularning termoelektrik, elektrofizik, magnit va optik xossalarini yanada chuqur o'rganish dolzarb masalalaridan biriga aylanib bormoqda. Ulardan yuqori samaradorlikka ega bo'lgan qurilmalar yaratish va mavjud bo'lgan imkoniyatlarini kengaytirishda foydalanish asosiy yo'nalishlaridan biridir. Yuqori texnologiyali materiallar sifatida foydalanishda katta ahamiyatga ega bo'lgan oliy marganes silitsid strukturalaridan biri bu - Mn_4Si_7 nanoplyonkasidir. Ushbu hajmiy strukturaning noyob magnit, issiqlik, yorug'lik kabi xossalari tufayli, nanoelektronika, yuqori haroratli dvigatellar, energiyani qayta tiklash tizimlari, infraqizil detektorlar, fotodiodlar ishlab chiqarish va boshqa sohalarda ishlatiladigan qurilmalarning faol qismi sifatida foydalaniladi. Mn_4Si_7 ning termoelektr sifat ko'rsatkichi (ZT) 20-800 °C harorat oralig'ida 0.4 ga yetadi [1].

Oliy marganes silitsidining muhim afzalliklaridan biri bu boshlang'ich komponentalarning ekologik tozaligi va ishlab chiqarishning arzonligidir [2]. Bu birikmalar vakuumda sublimatsiyasiz 1100 K gacha bo'lgan yuqori issiqlik manbalarida ishlatish mumkin va ular yuqori haroratda oksidlanishga kuchli chidamli birikmalardan biridir [3].

Oliy marganes silitsididan termoelektrik qurilmalarda foydalaniladi va ular ishlab chiqarilgan materilning samaradorligiga bog'liq hisoblanadi. Ushbu samaradorlik Zeebek ko'effitsiyenti (S), elektr qarshilik (ρ) va issiqlik o'tkazuvchanligi (k) o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi termoelektrik ko'rsatkich ZT bilan xarakterlanadi:

$$ZT = \frac{S^2 T}{\rho \cdot k}$$

Termoelektrik qurilmalarda yuqori samaradorlikka erishish uchun ko'effitsiyentining katta va qiymatlarining esa kichik bo'lishi maqsadga muvofiqdir. Shu sababli, termoelektrik materiallarni ishlab chiqishda bu parametrlar o'rtasidagi optimal muvozanatni topish muhim ilmiy masala hisoblanadi [3].

Mn_4Si_7 asosidagi yarim o'tkazgichli birikmalar ushbu talablarni qanoatlantirishga qodir materiallardan biri bo'lib, ularning termoelektrik xossalarini chuqur o'rganish dolzarb hisoblanadi.

Ishlab chiqarilgan Mn, Si plyonkaning termoelektrik xossalari (qarshilik va Zeebek ko'effitsiyenti) mos ravishda to'rt zondli usuldan foydalangan holda va uni 10 Pa bosimga vakuumga joylashtirish orqali aniqlanadi [4].

Ushbu maqolada Mn_4Si_7 nanoplyonkasini magnetron changlatish usuli yordamida hosil qilish hamda hosil bo'lgan plyonkaning termoelektrik xususiyatlari tahlillari haqida ma'lumot berilgan.

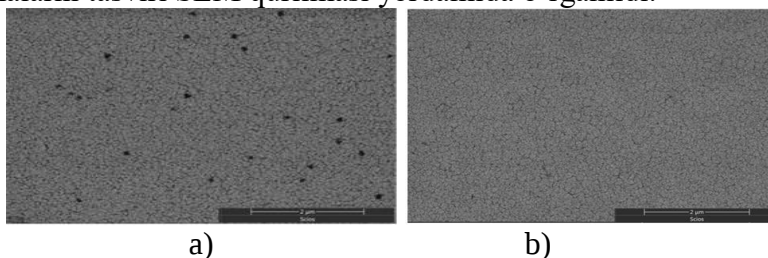
Metodlar. Nanoplyonkalarni hosil qilishning bir necha usullari mavjud. Ushbu usullardan biri ion plazma orqali changlatish usuli hisoblanadi. Ion-plazmali changlatish usullari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- doimiy tokda ion-plazmali (katod changlatish);
- magnetron changlatish;
- yuqori chastotali ion-plazmali;
- reaktiv ion-plazmali [5].

Plyonka hosil qilishda ion plazma, diffuziya, termik bug'latish va boshqa usullardan foydalaniladi. Mn_4Si_7 nanoplyonkasini ion plazma usuli yordamida magnetron qurilmasida hosil qilishda dastlab Si/SiO₂ tagligi tanlab olinadi va kimyoviy usulda tozalab olinadi va toza azot bilan quritiladi. Magnetron katodiga DC magnetron (metal nishonlarga) Mn_4Si_7 nishoni joylashtiriladi va vakuum darajasi 10⁻⁶ Torr yetgandan keyin kuchlanish beriladi. Ar⁺ ionlari nishon yuzasiga urilib Mn, Si yoki Mn_4Si_7 atom va

molekulalarini ajratib taglik tomon harkatlantiradi. Changlatish jarayonida kuchlanish 300-600 V, plazma toki 50-200 mA, changlatish vaqti 100 nm qalinlik uchun 150 sekund, taglik harorati 200-250 °C, o'sish qalinligi esa 70-300 nm gacha oraliqda bo'lish ehtimolligi samarali plyonkalarni hosil qilishda ahamiyatlidir. Hosil bo'lgan plyonkalaning kristall tuzilishini yaxshilash uchun 500-700 °C da vakuum yoki inert gaz muhitida qizdiriladi. Termik ishlov berish natijasida esa Mn va Si atomlari plyonkada bir tekislikda taqsimlanish ehtimolligi ortadi. Bu esa plyonkaning samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Natijalar va muhokama. Biz Mn_4Si_7 nanoplyonkasini hosil qilishda ion plazma usulida Epos-PVD-DESK-PRO magnetron qurilmasidan foydalanganmiz. Mn, Si namunalarning tozaligi 99,5% ni tashkil etdi. Nishonning diametri va qalinligi 76 mm va 6 mm edi [6, 7]. Dastlab taglik sifatida Si/SiO₂ (oksidli kremniy) tanlab olinadi va plyonka sifatiga ta'sir qilmasligi uchun uning sirti yumshoq mato yordamida ehtiyotkorlik bilan tozalab olindi. Taglik kamera ichiga, marganes mishen (target) esa DC magnetron elektrodiga joylashtirilib, 10⁻³ Pa vakuum olindi. Magnetron tizimi ichiga yuqori energiyali Ar⁺ gaz plazmasi yuborilib, mishen atomlari taglikka yo'naltirilishi natijasida kerakli tarkibdagi Mn_4Si_7 plyonka 250 nm qalinlikda 15 daqiqada hosil qilindi. Hosil bo'lgan plyonkalarni tasviri SEM qurilmasi yordamida o'rganildi.



1-rasm. Mn_4Si_7 nanoplyonkasining a)qizdirishdan oldin va b) $T=800K$ haroratda qizdirilgan holatdagi SEM dagi tasvirlari

Magnetron changlatish natijasida hosil bo'lgan Mn_4Si_7 plyonka termal isitishdan oldin amorf holatda bo'ladi, biz buni aniqlashimiz mumkin (2-a-rasm). Kremniy oksidiga yotqizilgan kremniy va marganets atomlari taglikni deyarli to'liq qoplagan. Amorf plyonka bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida biz plyonkaning metall xususiyatiga ega ekanligini kuzatdik. Amorf holatda plyonkaning qarshiligi polikristal holatdagi qarshilikdan kattaroqdir. Buning sababi shundaki, marganes va kremniy atomlari orasidagi bog'lanish juda zaif va sirt joylarida to'liq qoplanmagan nuqta nuqsonlari mavjud. Nanoplyonka 800 K haroratda qizdirilgandan so'ng, sirdagi nuqta nuqsonlari yo'qoladi, marganes va kremniy atomlari bog'lanish hosil qiladi va hosil bo'lgan struktura yarimo'tkazgich xususiyatlariga ega.

Plyonkani qizdirish natijasida hosil bo'lgan nuqsonlarni keskin tarzda yo'qolishini kuzatishimiz mumkin. Bu esa ushbu birikmaning elektrofizik xususiyatlarini o'zgarishiga ham sabab bo'ladi.

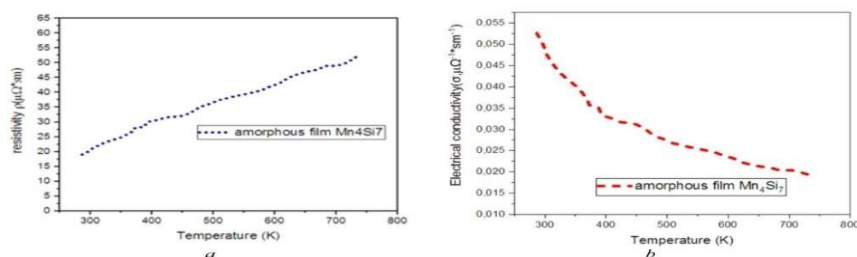
Mn_4Si_7 nanoplyonkasining termoelektrik parametrlarini o'lchashda biz Ecopia HMS-5000 qurilmasidan foydalandik. Xona haroratida o'lchangan natijalarni jadvalda ko'rishimiz mumkin:

jadval

Mn_4Si_7 nanoplyonkasining elektrofizik prametrleri

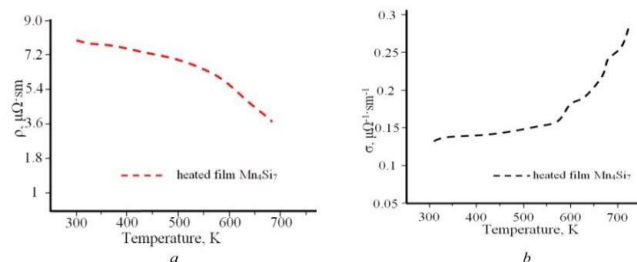
№	Elektrofizik kattaliklar	O'lchov birligi	Mn_4Si_7
1	Hajmiy konsentratsiya	sm ⁻³	$4.46 \cdot 10^{21}$
2	Harakatchanlik	sm ² /V·s	1.64
3	Yuzaviy qarshilik	Om/sm	$3.13 \cdot 10^1$
4	Solishtirma qarshilik	Om·sm	$8 \cdot 10^{-6}$
5	Xoll ko'effitsiyenti	sm ³ /C	$1.28 \cdot 10^{-3}$
6	Magnit qarshilik	Om	$1.73 \cdot 10^{-1}$

7	Yuzaviy konsentratsiya	$1/\text{sm}^2$	$1.2 \cdot 10^{17}$
8	Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik	$1/\text{Om} \cdot \text{sm}$	$0.125 \cdot 10^6$



2-rasm. Amorf holatdagi Mn_4Si_7 plyonkasi qarshiligining qarshiligi va elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi.

Hosil bo'lgan Mn_4Si_7 plyonkaning solishtirma qarshiligi xona haroratida $20 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{sm}$; 750 K haroratgacha qizdirilganda uning qarshiligi $50 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{sm}$ gacha oshadi (2-a-rasm). Ushbu plyonkaning o'ziga solishtirma elektr o'tkazuvchanligi xona haroratida $5 \cdot 10^4 \Omega \cdot \text{sm}$. 750 K ga qizdirilganda uning elektr o'tkazuvchanligi $1,2 \cdot 10^4 \Omega^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ gacha kamayganini ko'rish mumkin (2-b rasm). Mn_4Si_7 plyonkasi 650 K haroratda 10^{-3} Pa bosimda 1 soat davomida maxsus moslama yordamida qizdirilgandan so'ng plyonka xona haroratiga yetguncha vakuumda sovutilgan. Mn_4Si_7 plyonkaning qarshiligi va elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi grafifi shaklda ko'rsatilgan. Xona haroratida u $7,86 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{sm}$, 700 K haroratgacha qizdirilganda uning qarshiligi $3,9 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{sm}$ gacha kamayadi (3-a-rasm). Bu plyonkaning o'ziga solishtirma elektr o'tkazuvchanligi xona haroratida $0,12 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ bo'ladi. Uning o'tkazuvchanligi xona haroratida 70 K ga oshishi mumkin $0,27 \cdot 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ gacha (3-b-rasm).

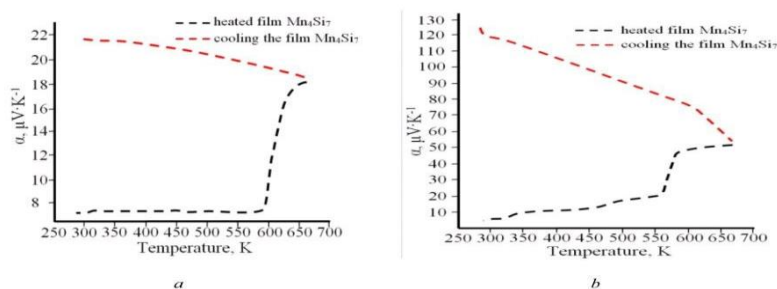


3-rasm. Mn_4Si_7 plyonkasining polikristall holatidagi solishtirma qarshiligi a) solishtirma elektr o'tkazuvchnligi b) haroratga bog'liqligi grafifi

Grafikdan ko'rinib turibdiki, harorat ortishi bilan qarshilikning kamayishi (3-a-rasm) va elektr qarshiligining ortishi (3-b-rasm) plyonkaning polikristall tuzilishga ega ekanligini tasdiqlaydi.

4-rasmda Mn_4Si_7 plyonkaning amorf holatdagi (4-a-rasm) va polikristall holatidagi (4-b-rasm) Zeebek koeffitsientining haroratga bog'liqligi grafiklari keltirilgan. Polikristal holatidagi plyonkaning Zeebek koeffitsiyenti amorf holatga qaraganda taxminan 6 baravar yuqori bo'lib chiqdi.

Bu tajribalar Mn_4Si_7 , polikristall holatdagi kremniy plyonkasi haroratining oshishi plyonkadagi elektronlar va teshiklar konsentratsiyasining oshishiga olib keladi degan xulosaga kelishimizga olib keladi.



4-rasm. a) Amorf plyonkaning haroratga bog'liqligi, b) polikristall plyonkaning termoEMF haroratga bog'liqligi

Aniqlanishicha, Mn_4Si_7 plyonkaning termoelektr quvvati amorf holatdan nanokristall holatga o'tish jarayonida ortib boradi, bu nanoklasterlar chegarasida zaryad tashuvchilarning tanlab sochilishi bilan bog'liq.

SiO_2/Si substratida o'stirilgan Mn_4Si_7 plyonkalari eng yuqori konversiya ko'effitsiyentiga ega ekanligi ko'rsatilgan, bu SiO_2/Si 149 Vt/m·K ning past o'ziga solishtirma issiqlik o'tkazuvchanligi bilan izohlanadi. SiO_2/Si ustidagi Mn, Si plyonkalari yuqori sezuvchanlikka ega. Bu plyonkalar ko'rinadigan va IQ diapazonlarida, termal to'lqin radiatsiya detektorlarida qo'llanilishi mumkin.

Xulosa. Yuqori molekulyar birikma plyonkasi bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida plyonkaning termoelektrik xossalari amorf fazaga qaraganda kristall fazada yaxshiroq ekanligi aniqlandi. Buning sababi marganes va kremniy atomlari orasidagi bog'lanish juda zaif va material bilan to'liq qoplanmagan joylarda sirt nuqsonlari mavjud. Plyonkaning sirt nuqsonlari qizdirish natijasida yo'qoladi va butun tuzilish yarimo'tkazgich xususiyatga ega. Marganes silitsidlarining plyonkalari plyonkali termoelementlar va radiatsiya qabul qiluvchilar sifatida ishlatish mumkin. Shuning uchun plyonkalarining elektrofizik parametrlarini o'rganish amaliy qo'llash uchun juda foydalidir. Oliy marganes silitsid-kremniy tuzulishidagi strukturalar asosida termoelektr yurituvchi kuchlanishining qiymati katta bo'lgan, samaradorligi yuqori termobataryalarni yaratish iqtisodiy jihatdan mavjud yarimo'tkazgich materiallar asosida yasalganlardan arzon bo'lishi bilan ajralib turishi ko'rsatib berildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Орехов А.С., Клеchkovskaya В.В., Ракова Е.В., Соломкин Ф.Ю., Новиков С.В., Бочков Л.В., Исаченко Г.Н. Установление взаимосвязи микроструктуры и термоэлектрических свойств кристаллов высшего силицида марганца, легированных германием. // *ФТП*. 2017. Том. 51. № 7. с. 925.
2. Орехов А.С. Структура пленок высшего силицида марганца по данным электронной микроскопии. Автореферат на соискание ученой степени к.ф.-м.н. Москва 2017 г. с.23. crys.ras.ru/dissertations/Orekhov/Orekhov_avtoref.pdf
3. Dao Y.N.T. Thermoelectric Properties of Higher Manganese Silicides - University of Waterloo, Ontario, Canada, 2015. p.189. hdl.handle.net/10012/10042
4. Mavrokefalos A., Petters M. T., Zhou F., Shi L. Four-probe measurements of the in-plane thermoelectric properties of nanofilms // *Review of Scientific Instruments*. 2007. Vol. 78. No. 3. P. 034901
5. Сарач О. Б. Конспект лекций по дисциплине Основы технологии электронной компонентной базы /О. Б. Сарач - Москва: НИУ «МЭИ», 2012 - 250 с.
6. Liu H., She G., Huang X., Qi X., Mu L., Meng X., Shi W. Synthesis and magnetic properties of Mn_4Si_7 and Si- Mn_4Si_7 axial heterostructure nanowire arrays // *The Journal of Physical Chemistry C*. 2013. Vol. 117 No. 5. Pp. 2377–2381.
7. Золотарев В. М., Никоноров Н. В., Игнатьев А. И. Современные методы исследования оптических материалов. Часть II. Методы исследования поверхности оптических материалов и тонких пленок. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 166 с.
8. Kamilov T.S., Rysbaev A.S., Klechkovskaya V.V., Orekhov A.S., Igamov B.D., Bekpulatov I.R. The Influence of Structural Defects in Silicon on the Formation of Photosensitive Mn_4Si_7 -Si(Mn)- Mn_4Si_7 and Mn_4Si_7 -Si(Mn)-M Heterostructures. // *Applied Solar Energy*, 2019, Vol. 55, № 6, pp. 380-384.
9. Liu H., She G., Huang X., Qi X., Mu L., Meng X., Shi W. Synthesis and Magnetic Properties of Mn_4Si_7 and Si- Mn_4Si_7 Axial Heterostructure Nanowire Arrays. // *The Journal of Physical Chemistry C* 117 (5): 2377–2381. doi: 10.1021/JP 31st
10. Rysbaev A.S., Khuzhaniyazov Zh.B., Bekpulatov I.R., Rakhimov A.M. Formation of Nanosize Silicides Films on the Si(111) and Si(100) Surfaces by Low Energy Ion Implantation.// *Technical Physics*, 2014, Vol. 59, № 10, pp. 1526–1530.

NOCHIZIQLI CHEGARAVIY SHARTLARGA EGA REAKSIYA-DIFFUZIYA MASALASINING AVTOMODEL YECHIMI ASIMPTOTIKASI

Raxmonov Zafar Ravshanovich

O'zbekiston milliy universiteti, f.-m.f.d., professor

zraxmonov@inbox.ru

ORCID 0000-0002-4190-7069

Zaripova Aziza Raxmonovna

Qarshi davlat universiteti, tayanch doktoranti

azizazaripova1990@mail.ru

UDK 519.957

Annotatsiya. Mazkur maqolada nochiziqli chegaraviy shartlarga ega divergent ko'rinishdagi parabolik tenglamalar sistemasi orqali ifodalanuvchi reaksiya-diffuziya masalasining sekin diffuziya holi uchun avtomodel yechimi qurilgan. Avtomodel yondoshuv va etalon tenglamalar usuli asosida avtomodel yechimning asimptotikasi topilgan. So'nggi yillarda fanning mexanika, fizika, texnologiya, biofizika, biologiya, ekologiya, tibbiyot va boshqa turli sohalarida uchraydigan, nochiziqli differensial tenglamalar orqali ifodalanuvchi hodisa va jarayonlarning chiziqli modellarini o'rganishga katta qiziqish borligi kuzatilmoqda. Ayniqsa, bu keskinlashgan rejimlarda (blow-up) kechuvchi yuqori tezlikdagi jarayonlarga bog'liq bo'lib, ularda o'rganilayotgan funktsiya (yechim) sohaning alohida nuqtasida yoki butun sohada cheksizlikka intiladigan jarayonlarga ta'luqlidir. Ko'pgina fizik, biologik, ximik jarayonlarni ifodalovchi masalalarda (masalan, yonish jarayonlarida, kimyoviy reaksiyalarda, gazodinamikada, biologik populyatsiya jarayonlarida) aynan shunday yechimlar vujudga keladi.

Kalit so'zlar: reaksiya-diffuziya jarayoni, parabolik tipdagi nochiziqli tenglamalar sistemasi, avtomodel yechim, avtomodel yechim asimptotikasi.

Abstract. This article constructs a self-similar solution for the case of slow diffusion of the reaction-diffusion problem, which is expressed by a system of divergent parabolic equations with nonlinear boundary conditions. Based on the self-similar approach and the method of reference equations, the asymptotics of the self-similar solution is found. In recent years, there has been a great interest in the study of non-linear models of phenomena and processes, expressed by nonlinear differential equations, encountered in mechanics, Physics, Technology, biophysics, biology, ecology, medicine and other various fields of science. Especially it depends on the high-speed processes occurring in sharpened modes (blow-up), in which the function (solution) under study is trained to processes that seek Infinity either at a particular point in the field or throughout the field. In matters that characterize many physical, biological, chemical processes (for example, in combustion processes, in chemical reactions, in gasdynamics, in biological population processes), such solutions arise.

Key words: reaction-diffusion process, system of nonlinear parabolic equations, self-similar solution, asymptotics of self-similar solution.

Kirish. Ushbu maqolada nochiziqli chegaraviy shartlarga ega divergent ko'rinishdagi parabolik tenglamalar sistemasi orqali ifodalanuvchi

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = (u_i^{p_i})_{xx}, \quad (i=1, 2, \dots, k), \quad x > 0, 0 < t < T \quad (1)$$

nochiziqli chegaraviy shartlar

$$-(u_i^{p_i})_x(0, t) = u_{i+1}^{q_{i+1}}(0, t), \quad (i=1, 2, \dots, k), \quad u_{k+1} := u_1, \quad q_{k+1} := q_1, \quad 0 < t < T, \quad (2)$$

uzluksiz, manfiy bo'lmagan boshlang'ich shartlarga ega

$$u_i(x, 0) = u_{0i}(x), \quad (i=1, 2, \dots, k), \quad x > 0 \quad (3)$$

reaksiya-diffuziya masalasini qaraymiz, bu yerda $p_i > 1$, $q_i > 0$, $(i=1, 2, \dots, k)$ berilgan sonli parametrlar hisoblanadi.

(1)-(3) nochiziqli reaksiya-diffuziya sistemasi fan va texnikaning turli sohalaridagi amaliy masalalarda keng uchraydi. Jumladan, kimyoviy reaksiyalar, issiqlik tarqalishi yoki populyatsiya dinamikasi kabi jarayonlarni matematik modellashtirishda qo'llaniladi [1–3].

Ma'lumki, bunday tenglamalar klassik ma'noda yechimga ega emas. Shu sababli, (1)-(3) masalaning umumlashgan yechimlarini ko'rib chiqamiz [1, 2].

Nochiziqli parabolik tipdagi tenglamalarga qo'yilgan chegaraviy masala uchun chegaralanmagan yechim (blow-up) va global yechimlar mavjudlik shartlari, lokalizatsiya

hodisasining hosil bo'lishi, Fudjita tipidagi kritik eksponentalar qator olimlar tomonidan keng o'rganilgan (qarang [4-15] va ulardagi manbalar).

V.Galakionov va H.Levine [15] tomonidan quyidagi chegaraviy masalaning yechimlari xususiyatlari o'rganilgan

$$\begin{aligned} u_t &= (u^p)_{xx}, \quad x > 0, \quad 0 < t < T \\ -(u^p)_x(0, t) &= u^q(0, t), \quad 0 < t < T \\ u(x, 0) &= u_0(x), \quad x > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Ushbu maqolada quyidagilar isbotlangan:

- agar $0 < q \leq q_0 = (p+1)/2$ bo'lsa, u holda (4) masalaning manfiy bo'lmagan yechimlari global (ya'ni vaqtning har qanday qiymati uchun mavjud) bo'ladi, aksincha $q > q_0$ va boshlang'ich shart yetarlicha katta bo'lsa, yechimlar cheklangan vaqt ichida cheksizlikka intiladi (ya'ni, "blow-up" sodir bo'ladi). Bunda, q_0 - bu yechimning global mavjudlik kritik eksponentasi, $q_c := p_1 + 1$ esa Fujita turidagi kritik eksponenta deyiladi.

- agar $q_0 < q \leq q_c$ bo'lsa, u holda manfiy bo'lmagan yechim cheklangan vaqt ichida cheksizlikka intiladi, $q_2 > q_c$ da esa yechim global bo'ladi.

Shuni ta'kidlash joizki, (1)-(3) masala uchun kritik eksponentalar bilan bog'liq ayrim maxsus hollar bo'yicha quyidagi tadqiqotlar mavjud:

[9–11] da mualliflar $p_i = 1, (i = 1, 2, \dots, k)$ bo'lgan holini ko'rib chiqishgan.

[12] da esa $k = 2$ uchun sistema yechimlari tahlil qilingan.

[13] maqolada filtratsiya jarayonining quyidagi matematik modeli o'rganilgan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\left| \frac{\partial u^{m_i}}{\partial x} \right|^{p_i-2} \frac{\partial u^{m_i}}{\partial x} \right), \quad x > 0, \quad 0 < t < T \\ - \left| \frac{\partial u^{m_i}}{\partial x} \right|^{p_i-2} \frac{\partial u^{m_i}}{\partial x} \Big|_{x=0} &= u^{q_1}(0, t), \quad 0 < t < T, \\ u(x, 0) &= u_0(x), \quad x > 0, \end{aligned}$$

bu yerda $m_i > 1$, $p_i > 2$. Mualliflar tomonidan yuqoridagi masalaning manfiy bo'lmagan yechimlari: agar $0 < q_1 \leq q_0 := \frac{(m_1 + 1)(p_1 - 1)}{p_1}$ bo'lsa, vaqt bo'yicha global ekanligi; agar

$q_1 > \frac{(m_1 + 1)(p_1 - 1)}{p_1}$ bo'lsa, yechimlar chekli vaqtda cheksiz qiymatga erishishi

isbotlangan. Shuningdek, $q_0 < q_1 \leq q_c$ bo'lsa, barcha notrivial yechimlar chekli vaqt ichida cheksizlikka intilishi isbotlangan.

Zhaoyin Xiang va boshqalar [14] parabolik tipdagi nochiziqli tenglamalar sistemasi uchun quyidagi chegaraviy masalani qarashgan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\left| \frac{\partial u^{m_1}}{\partial x} \right|^{p_1-2} \frac{\partial u^{m_1}}{\partial x} \right), \quad x > 0, \quad 0 < t < T, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\left| \frac{\partial v^{m_2}}{\partial x} \right|^{p_2-2} \frac{\partial v^{m_2}}{\partial x} \right), \quad x > 0, \quad 0 < t < T, \end{aligned} \quad (5)$$

Bu yerda ular nochiziqli chegara oqimi orqali bog'langan:

$$\left| \frac{\partial u^{m_1}}{\partial x} \right|^{p_1-2} \frac{\partial u^{m_1}}{\partial x} \Big|_{x=0} = v^{q_1}(0, t), \quad 0 < t < T, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial v^{m_2}}{\partial x} \right|^{p_2-2} \frac{\partial v^{m_2}}{\partial x} \Big|_{x=0} &= u^{q_2}(0, t), \quad 0 < t < T, \\ u(x, 0) &= u_0(x), \quad v(x, 0) = v_0(x), \quad x > 0 \end{aligned} \quad (7)$$

bu yerda $m_i > 1$, $p_i > 2$ va $q_i > 0$, $i = 1, 2$ - sonli parametrlar. Ushbu maqolada boshlang'ich shart va sonli parametrlarga bo'liq ravishda yechimlarning global yoki chegaralanmagan bo'lish shartlari topilgan.

[16] da ushbu

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu^{m_1-1} \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad \frac{\partial \nu}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(u^{m_2-1} \frac{\partial \nu}{\partial x} \right), \quad x \in R_+, \quad t > 0, \quad (8)$$

$$-\nu^{m_1-1} \frac{\partial u}{\partial x}(0, t) = u^{q_1}(0, t), \quad -u^{m_2-1} \frac{\partial \nu}{\partial x}(0, t) = \nu^{q_2}(0, t), \quad t > 0, \quad (9)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad \nu(x, 0) = \nu_0(x), \quad x \in R_+, \quad (10)$$

nohiziqli chegaraviy shartlar bilan berilgan, nohiziqli kross-diffuziya sistemasi yechimlarining xususiyatlarini ko'rib chiqilgan. Ular avtomodel tahlil asosida (8)-(10) masalaning umumlashgan global yechimlarining mavjudlik shartlarini aniqlangan.

Tadqiqot metodologiyasi. Biz yuqoridagi (1)-(3) masalani yechimini quyidagi ko'rinishda qidiramiz: $\bar{u}_i(x, t) = (T+t)^{-\alpha_i} \varphi_i(\xi_i)$

bu yerda $\xi_i = x(T+t)^{-\lambda_i}$, $x = \frac{\xi_i}{(T+t)^{-\lambda_i}}$. Ushbu ifodani (1)-(3) ga qo'yish orqali quyidagi

hisoblashlarni amalga oshiramiz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial t} &= -\alpha_i (T+t)^{-\alpha_i-1} \varphi_i(\xi_i) + (T+t)^{-\alpha_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \frac{d\xi_i}{dt} = -\alpha (T+t)^{-\alpha-1} \varphi_i(\xi_i) + \\ &+ (T+t)^{-\alpha_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} x(-\lambda_i) (T+t)^{-\lambda_i-1} = -\alpha (T+t)^{-\alpha-1} \varphi_i(\xi_i) - \lambda_i (T+t)^{-\alpha_i-\lambda_i-1} \frac{\xi_i}{(T+t)^{-\lambda_i}} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} = \\ &= (T+t)^{-\alpha_i-1} \left[-\alpha \varphi_i(\xi_i) - \lambda_i \xi_i \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \right]; \\ \frac{\partial u_i}{\partial x} &= (T+t)^{-\alpha_i p_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \frac{d\xi_i}{dx} = (T+t)^{-\alpha_i p_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} (T+t)^{-\lambda_i} = (T+t)^{-\alpha_i p_i - \lambda_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \\ \frac{\partial}{\partial x} &= \frac{d}{d\xi_i} \frac{d\xi_i}{dx} = \frac{d}{d\xi_i} (T+t)^{-\lambda_i} \\ (T+t)^{-\alpha_i-1} \left[-\alpha \varphi_i(\xi_i) - \lambda_i \xi_i \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \right] &= (T+t)^{-\lambda_i} \frac{d}{d\xi_i} \left[(T+t)^{-\alpha_i p_i - \lambda_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \right] \\ (T+t)^{-\alpha_i-1} \left[-\alpha \varphi_i(\xi_i) - \lambda_i \xi_i \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \right] &= (T+t)^{-\lambda_i - \alpha_i p_i - \lambda_i} \frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i}{d\xi_i} \right] \\ -\alpha_i - 1 &= -\lambda_i - \alpha_i p_i - \lambda_i \\ \alpha_i + 1 &= \lambda_i + \alpha_i p_i + \lambda_i \\ \lambda_i &= \frac{\alpha_i(1-p_i)+1}{2} \end{aligned}$$

Chegara uchun

$$\begin{aligned} -\left(\frac{du_i^{p_i}}{dx} \right)(0, t) &= u_{i+1}^{q_{i+1}}(0, t) \\ -(T+t)^{-\alpha_i p_i - \lambda_i} \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} &= (T+t)^{-\alpha_{i+1} q_{i+1}} \varphi_{i+1}^{q_{i+1}}(0) \\ -\alpha_i p_i - \lambda_i &= -\alpha_{i+1} q_{i+1} \\ \alpha_i p_i + \lambda_i &= \alpha_{i+1} \cdot q_{i+1} \end{aligned}$$

Natijada quyidagi avtomodel ko'rinishga kelimiz:

$$\frac{d}{d\xi_i} \left(\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right) + \alpha_i \varphi_i(\xi_i) + \lambda_i \xi_i \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} = 0 \quad (11)$$

$$-\left(\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right)(0, t) = \varphi_{i+1}^{q_{i+1}}(0), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

Endi (11)-(12) masalani yechimi quyidagi funksiya ko'rinishida qidiramiz:

$\varphi_i(\xi_i) = (a_i - b_i \cdot \xi_i^{\gamma_1})^{\gamma_2}$ bu yerda $a_i > 0$

$$\frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right] + \lambda_i \xi_i \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} + \lambda_i \varphi_i - \lambda_i \varphi_i + \alpha_i \varphi_i(\xi_i) = 0$$

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right] + \lambda_i \left[\xi_i \frac{d\varphi_i}{d\xi_i} + \varphi_i \right] - \lambda_i \varphi_i + \alpha_i \varphi_i(\xi_i) = 0 \\
& \frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right] + \lambda_i \frac{d}{d\xi_i} [\xi_i \varphi_i] - \lambda_i \varphi_i + \alpha_i \varphi_i(\xi_i) = 0 \\
& \frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right] + \lambda_i \frac{d}{d\xi_i} [\xi_i \varphi_i] = 0 \\
& \frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right] = -\lambda_i \frac{d}{d\xi_i} [\xi_i \varphi_i] \\
& \int \frac{d}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} \right] = -\lambda_i \int \frac{d}{d\xi_i} [\xi_i \varphi_i] \\
& \frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} = -\lambda_i \xi_i \varphi_i \\
& \frac{d}{d\xi_i} \varphi_i^{p_i} = -\lambda_i \xi_i \varphi_i \\
& p_i \varphi_i^{p_i-1} \frac{d\varphi_i^{p_i}}{d\xi_i} = -\lambda_i \xi_i \varphi_i \\
& \int \varphi_i^{p_i-2} d\varphi_i^{p_i} = \int \frac{-\lambda_i \xi_i}{p_i} d\xi_i \\
& \frac{\varphi_i^{p_i-1}}{p_i-1} = C - \frac{\lambda_i \xi_i^2}{2p_i} \\
& \varphi_i = \left[C - \frac{\lambda_i (p_i-1)}{2p_i} \xi_i^2 \right]^{\frac{1}{p_i-1}} \\
& \varphi_i = \left[a_i - \frac{(p_i-1)}{2p_i} \lambda_i \xi_i^2 \right]^{\frac{1}{p_i-1}} \tag{13}
\end{aligned}$$

bu yerda $b_i = \frac{p_i-1}{2p_i} \lambda_i$, $\gamma_1 = 2$, $\gamma_2 = \frac{1}{p_i-1}$, $i = 1, 2, \dots, k$.

Natijalar va muhokama. Teorema 1. Faraz qilaylik $\xi_i \rightarrow \left(\frac{a_i}{b_i} \right)_+^{1/(p_i-1)}$ bo'lsin, u

holda (11), (12) masalaning kompakt yurituvchili (compact support) yechimi quydagi asimptotikaga ega:

$$\varphi_i(x) = \bar{\varphi}(\xi_i)(1 + o(1))$$

bu yerda $\bar{\varphi}_i(\xi_i) = (a_i - b_i \xi_i^2)^{\frac{1}{p_i-1}}$, $a_i > 0$, $b_i = \frac{(p_i-1)}{2p_i} \lambda_i > 0$, $y_{\max} = (0, y)$ $\bar{\varphi}(\xi_i)$ - yuqorida aniqlangan funksiya.

Isbot: (11) tenglama yechimini quydagi ko'rinishda izlaymiz:

$$\varphi_i(\xi_i) = \bar{\varphi}(\xi_i) w_i(\tau_i). \tag{14}$$

Bu yerda $\tau_i = -\ln |a_i - b_i \cdot \xi_i^2|$, $b_i = \frac{p_i-1}{2p_i} \lambda_i$, $\tau_i \rightarrow +\infty$ bo'ladi, agar

$$\xi_i \rightarrow \left(\frac{a_i - e^{-\tau_i}}{b_i} \right)^{\frac{1}{2}}, e^{-\tau_i} = a_i - b_i \xi_i^2.$$

(14) formulani hisobga olsak, (11) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{d\varphi_i}{d\xi_i} = \frac{d\bar{\varphi}_i}{d\tau_i} \frac{d\tau_i}{d\xi_i} w_i(\tau_i) + \bar{\varphi}_i(\xi_i) \frac{dw_i(\tau_i)}{d\tau_i} \frac{d\tau_i}{d\xi_i} = \frac{d\tau_i}{d\xi_i} \left[\frac{d\bar{\varphi}_i}{d\tau_i} w_i(\tau_i) + \bar{\varphi}_i(\xi_i) \frac{dw_i(\tau_i)}{d\tau_i} \right] =$$

$$\begin{aligned}
&= \left| \frac{\varphi_i}{d\varphi_i} = \frac{1}{1-p_i} e^{-\tau_i \frac{1}{p_i-1}} \right| = \left| \frac{\tau_i = -\ln(a_i - b_i \xi_i^2)}{d\xi_i} = -\frac{1}{a_i - b_i \xi_i^2} (-2b_i \xi_i) = \right. \\
&= \left. \frac{2b_i \xi_i}{a_i - b_i \xi_i^2} \right| = \frac{2b_i \xi_i}{a_i - b_i \xi_i^2} \left[\frac{1}{1-p_i} e^{-\tau_i \frac{1}{p_i-1}} w_i(\tau_i) + e^{-\tau_i \frac{1}{p_i-1}} (w_i(\tau_i))' \right] = \\
&= 2b_i \xi_i e^{\tau_i - \tau_i \frac{1}{p_i-1}} L_1(w_i) = 2b_i \left(\frac{a_i - e^{-\tau_i}}{b_i} \right)^{\frac{1}{2}} e^{\tau_i \frac{p_i-2}{p_i-1}} L_1(w_i) = 2b_i^{\frac{1}{2}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\tau_i \frac{p_i-2}{p_i-1}} L_1(w_i); \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\frac{d}{d\xi_i} = \frac{d}{d\tau_i} \frac{d\tau_i}{d\xi_i} = \frac{d}{d\tau_i} 2b_i \xi_i e^{\tau_i} = 2b_i \left(\frac{a_i - e^{-\tau_i}}{b_i} \right)^{\frac{1}{2}} e^{\tau_i} \frac{d}{d\tau_i} = 2b_i^{\frac{1}{2}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{-\tau_i} \frac{d}{d\tau_i} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
&\varphi_i^{p_i}(\xi_i) = \varphi_i^{p_i}(\xi_i) w_i^{p_i}(\tau_i) \\
&\frac{d\varphi_i}{d\xi_i} = \frac{d\varphi_i}{d\tau_i} \frac{d\tau_i}{d\xi_i} w_i^{p_i}(\tau_i) + \varphi_i^{p_i}(\xi_i) \frac{dw_i^{p_i}(\tau_i)}{d\tau_i} \frac{d\tau_i}{d\xi_i} = \frac{d\tau_i}{d\xi_i} \left[\frac{d\varphi_i}{d\tau_i} w_i^{p_i}(\tau_i) + \varphi_i^{p_i}(\xi_i) \frac{dw_i^{p_i}(\tau_i)}{d\tau_i} \right] = \\
&= \left| \frac{\varphi_i}{d\varphi_i} = \frac{p_i}{1-p_i} e^{-\tau_i \frac{p_i}{p_i-1}} \right| = \left| \frac{\tau_i = -\ln(a_i - b_i \xi_i^2)}{d\xi_i} = -\frac{1}{a_i - b_i \xi_i^2} (-2b_i \xi_i) = \right. \\
&= \left. \frac{2b_i \xi_i}{a_i - b_i \xi_i^2} \right| = \frac{2b_i \xi_i}{a_i - b_i \xi_i^2} \left[\frac{p_i}{1-p_i} e^{-\tau_i \frac{p_i}{p_i-1}} w_i^{p_i}(\tau_i) + e^{-\tau_i \frac{p_i}{p_i-1}} (w_i^{p_i}(\tau_i))' \right] = \\
&= 2b_i^{\frac{1}{2}} e^{\tau_i} e^{-\tau_i \frac{p_i}{p_i-1}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} p_i \left[\frac{(w_i^{p_i})'}{p_i} - \frac{w_i^{p_i}}{p_i-1} \right] = 2b_i^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} p_i L_2(w_i^{p_i}) \quad (17)
\end{aligned}$$

Topilgan (15)-(17) ifodalarni (11) ga qo'yib quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}
&2b_i^{\frac{1}{2}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{-\tau_i} \frac{d}{d\tau_i} \left[2b_i^{\frac{1}{2}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} p_i L_2(w_i^{p_i}) \right] + \\
&+ \alpha_i e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} w_i(\tau_i) + 2\lambda_i \xi_i b_i^{\frac{1}{2}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\tau_i \frac{p_i-2}{p_i-1}} = 0 \\
&4b_i (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{-\tau_i} p_i \frac{d}{d\tau_i} \left[(a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} L_2(w_i^{p_i}) \right] + \\
&+ \alpha_i e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} w_i(\tau_i) + 2\lambda_i \left(\frac{a_i - e^{-\tau_i}}{b_i} \right)^{\frac{1}{2}} b_i^{\frac{1}{2}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\tau_i \frac{p_i-2}{p_i-1}} L_1(w_i) = 0
\end{aligned} \quad (18)$$

$$\frac{d}{d\tau_i} \left[(a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} \right] = e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} \left(-\frac{1}{p_i-1} \right) (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} (e^{-\tau_i}) e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} = \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
&e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} \left[-\frac{1}{p_i-1} + \frac{e^{-\tau_i}}{2(a_i - e^{-\tau_i})} \right] \\
&\frac{d}{d\tau_i} \left[(a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} L_2(w_i^{p_i}) \right] = e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} \left[-\frac{1}{p_i-1} + \frac{e^{-\tau_i}}{2(a_i - e^{-\tau_i})} \right] L_2(w_i^{p_i}) + \\
&+ e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} \frac{d}{d\tau_i} L_2(w_i^{p_i}) = e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} (a_i - e^{-\tau_i})^{\frac{1}{2}} \left[\left[\frac{e^{-\tau_i}}{2(a_i - e^{-\tau_i})} - \frac{1}{p_i-1} \right] L_2(w_i^{p_i}) + \frac{d}{d\tau_i} L_2(w_i^{p_i}) \right]
\end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
& 4b_i p_i (a_i - e^{-\tau_i}) e^{-\tau_i \frac{p_i}{p_i-1}} \left[\left[-\frac{1}{p_i-1} + \frac{e^{-\tau_i}}{2(a_i - e^{-\tau_i})} \right] L_2(w_i^{p_i}) + \frac{d}{d\tau_i} L_2(w_i^{p_i}) \right] + \\
& + \alpha_i e^{\frac{-\tau_i}{p_i-1}} w_i(\tau_i) + 2\lambda_i (a_i - e^{-\tau_i}) e^{\tau_i \frac{p_i-2}{p_i-1}} L_1(w_i) = 0 \\
& \left[-\frac{1}{p_i-1} + \frac{e^{-\tau_i}}{2(a_i - e^{-\tau_i})} \right] L_2(w_i^{p_i}) + \frac{d}{d\tau_i} L_2(w_i^{p_i}) + \alpha_i \frac{e^{-\tau_i}}{a_i - e^{-\tau_i}} \frac{1}{4b_i p_i} w_i(\tau_i) + \\
& + 2\lambda_i e^{2\tau_i} \frac{1}{4b_i p_i} L_1(w_i) = 0
\end{aligned} \quad (21)$$

Bunda:

$$L_2(w_i^{p_i}) = \frac{(w_i^{p_i})'}{p_i} - \frac{w_i^{p_i}}{p_i-1}, \quad L_1(w_i) = \frac{w_i(\tau_i)}{1-p_i} + (w_i(\tau_i))',$$

$$\phi_1(\tau_i) = \frac{e^{-\tau_i}}{a_i - e^{-\tau_i}}, \quad d_2 = \frac{\lambda_i}{2b_i p_i}, \quad d_1 = \frac{1}{4b_i p_i}.$$

(11) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\left[\frac{1}{2} \phi_1(\tau_i) - \frac{1}{p_i-1} \right] L_2(w_i^{p_i}) + \frac{d}{d\tau_i} L_2(w_i^{p_i}) + \alpha_i \phi_1(\tau_i) d_1 w_i(\tau_i) + e^{2\tau_i} d_2 L_1(w_i) = 0. \quad (22)$$

Oxirgi tenglama yechimlari xossalari o'rganish (1) tenglama yechimlari xossalari o'rganishga imkon beradi, ulardan har biri $[\tau_0, +\infty)$ oraliqda quyidagi tengsizliklarni qanoatlantiradi:

$$w_i(\tau_i) > 0, \quad \frac{w_i(\tau_i)}{1-p_i} + (w_i(\tau_i))' \neq 0, \quad w_i^{p_i}(\tau_i) > 0, \quad \frac{(w_i^{p_i})'}{p_i} - \frac{w_i^{p_i}}{p_i-1} \neq 0.$$

Endi (22) tenglamaning $w_i(\tau_i)$ yechimi cheklangan w_0 limitga ega yoki $\eta \rightarrow +\infty$ da cheksiz bo'lishini tekshiramiz. Faraz qilaylik:

$$v_i(\tau_i) = L_1(w_i^{p_i}).$$

Shunda $v_i(\tau_i)$ funksiyaning hosilasi uchun quyidagini olamiz:

$$v_i' = - \left(\frac{1}{2} \phi_1(\tau_i) - \frac{1}{p_i-1} \right) v_i - \alpha_i \phi_1(\tau_i) d_1 w_i(\tau_i) - e^{2\tau_i} d_2 L_1(w_i).$$

Oxirgi tenglama yechimlarini tahlil qilish uchun yordamchi funktsiyani kiritamiz.

$$\theta_i(\tau_i, \mu_i) = - \left(\frac{1}{2} \phi_1(\tau_i) - \frac{1}{p_i-1} \right) \mu_i - \alpha_i \phi_1(\tau_i) d_1 w_i(\tau_i) - e^{2\tau_i} d_2 L_1(w_i) \quad (23)$$

bu yerda μ_i - haqiqiy son. Shundan ko'rindiki, har bir $\theta_i(\tau_i, \mu_i)$ funksiyasi

$(\tau_i, +\infty)$ oraliqda aniqlangan va bu oraliqda quyidagi tengsizliklardan biri bajariladi:

$$v_i'(\tau_i) > 0, \quad v_i'(\tau_i) < 0.$$

Demak, (23) tenglamani Bo'l teoremasini hisobga olgan holda tahlil qilsak, bundan $v_i(\tau_i)$ funksiyasi uchun $\tau_i \in [\tau_1, +\infty)$ da limit mavjud degan xulosa kelib chiqadi.

Endi limit holatini ko'rib chiqamiz, bunda:

$$\begin{aligned}
& \xi_i \rightarrow \left(\frac{a_i}{b_i} \right)^{1/(p_i-1)} \\
& \lim_{\tau_i \rightarrow +\infty} \phi_1(\tau_i) \rightarrow 0
\end{aligned}$$

Xulosa va takliflar. Shunday qilib, ushbu limit va $w_i' = 0, (w_i^{p_i})' = 0$ ekanligidan w_i uchun quyidagi algebraik tenglama hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{1}{2} \phi_1(\tau_i) - \frac{1}{p_i-1} \right] \left[\frac{(w_i^{p_i})'}{p_i} - \frac{w_i^{p_i}}{p_i-1} \right] + \frac{d}{d\tau_i} L_2(w_i^{p_i}) + \alpha_i \phi_1(\tau_i) d_1 w_i(\tau_i) + e^{2\tau_i} d_2 \left[\frac{w_i}{1-p_i} + w_i' \right] = 0 \\
& \frac{1}{p_i-1} \frac{w_i^{p_i}}{p_i-1} = d_2 \frac{w_i}{p_i-1}, \text{ bundan } w_i = 1 \text{ ekanligi kelib chiqadi.}
\end{aligned}$$

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Wu, Z.Q., Zhao, J.N., Yin, J.X. and Li, H.L. *Nonlinear Diffusion Equations*, Singapore: World Scientific, 2001.
2. Levine, H. The role of critical exponents in blowup theorems, *SIAM Rev.*, 1990, 32(2), 262-288.
3. Xiang, Z.Y., Mu, C.L., and Wang, Y. Critical curve of the non-Newtonian polytropic filtration equations coupled via nonlinear boundary flux, *Rocky Mountain J. Math.*, 2009, 39(2):689-705.
4. Wang, Z.J., Yin, J.X. and Wang, C.P. Critical exponents of the non-Newtonian polytropic filtration equation with nonlinear boundary condition, *Appl. Math. Lett.*, 2007, 20(2): 142-147.
5. Li, Z.P., Cui, Z.J. and Mu, C.L. Critical curves for fast diffusive polytropic filtration equations coupled through boundary, *Appl. Anal.*, 2008, 87(9): 1041-1052.
6. Mi, Y.S., Mu, C.L., and Chen, B.T. Critical exponents for a nonlinear degenerate parabolic system coupled via nonlinear boundary flux, *J. Korean Math. Soc.*, 2011, 48(3): 513-527.
7. Li, Z.P., Mu, C.L., and Cui, Z.J. Critical curves for a fast diffusive polytropic filtration system coupled via nonlinear boundary flux, *Z. Angew. Math. Phys.*, 2009, 60(2): 284-298.
8. Galaktionov, V.A., Levine, H.A.: On critical Fujita exponents for heat equations with nonlinear flux boundary conditions on the boundary. *Israel J Math.* 94, 1250–146 (1996).
9. Lin, ZG: Blowup behaviors for diffusion system coupled through nonlinear boundary conditions in a half space. *Sci China Ser A Math.* 47, 72–82 (2004)
10. Pedersen, M, Lin, ZG: Blow-up analysis for a system of heat equations coupled through a nonlinear boundary condition. *Appl Math Lett.* 14, 2001, 171–176. doi:10.1016/S0893-9659(00)00131-2
11. Wang, MX: The blow-up rates for systems of heat equations with nonlinear boundary conditions. *Sci China Ser A Math.* 46, 2003, 169-175. doi:10.1360/03ys9018
12. Quirós, F, Rossi, JD: Blow-up sets and Fujita type curves for a degenerate parabolic system with nonlinear boundary conditions. *Indiana Univ Math J.* 50, 2001, 629-654.
13. Z.J.Wang, J.X.Yin and C.P.Wang, *Critical exponents of the non-Newtonian polytropic filtration equation with nonlinear boundary condition*, *Appl. Math. Letters* 20, 2007, 142-147.
14. Zhaoyin Xiang, Chunlai Mu and Yulan Wang, *Critical curve of the non-newtonian polytropic filtration equations coupled via nonlinear boundary flux*, *Rocky Mountain Journal of Math*, 39, 2009, 689-705.
15. V.A. Galaktionov and H.A. Levine, *On critical Fujita exponents for heat equations with nonlinear flux conditions on the boundary*, *Israel J. Math.* 94, 1996, 125-146.
16. Rakhmonov Z.R., Urumbaev J.E. On a Problem of Cross-Diffusion with Nonlocal Boundary Conditions // *Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics*, 2019, 12(5), P. 614–620.

AYRIM ATSETILEN DIOLLARI VA BENZIL SPIRTI ASOSIDA ODDIY EFIRLAR SINTEZI

Ablakulov Lochinbek Quchqorovich

Chirchiq davlat pedagogika universiteti, katta o'qituvchi

monokop91@gmail.com

ORCID 0009-0000-5760-4399

Ikramov Abduvakhob

Toshkent kimyo texnologiya instituti professori, t,f,d

ORCID 0009-0008-7450-2157

Ziyadullayev Odiljon Egamberdiyevich

Favqulodda vaziyatlar vazirligi Akademiyasi boshlig'ining birinchi o'rinbosari

Chirchiq davlat pedagogika universiteti professori, k,f,d

ORCID 0000-0001-9576-1889

Raxmatov Sardor Mamadali o'g'li

Toshkent kimyo texnologiya instituti o'qituvchi

ORCID 0009-0005-8897-0988

UDK 544.43.478.547.241.260.272.316.312.

Annotatsiya. Ushbu ishda turli xil atsetilen diollarining oddiy efirlarining sintezi o'rganildi. Oddiy efirlar sintezida katalizator sifatida mis (II) triflat, trietilamin va erituvchi dioxlometan ishtirokida avval sintez qilingan ayrim atsetilen diollarini, benzil spirti bilan reaksiyasi asosida biologik faolligi yuqori bo'lgan yangi avlod efirlar sintezi o'rganilgan. Reaksiyaning borishi va mahsulot unumiga ta'sir qiluvchi omillar tanlangan atsetilen diollari molekulasining tuzilishi, tabiati, harorat, reaksiya davomiyligi, katalizator va erituvchilar, substrat va reagentlar miqdori ta'siri tadqiq qilingan va kimyoviy faolligi o'rganilgan. Sintez qilingan oddiy efirlarni sintez qilishning nisbiy samaradorlik qatori ishlab chiqilgan va o'z navbatida oddiy efirlarning xususiy konstantalari, tuzilishi, tozaligi, Rf qiymati, elementlar analizi va tarkibi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari yordamida aniqlangan va tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Atsetilen diollari, benzil spirt, nukleofil birikish, reaksiya mexanizmi, oddiy efirlar, mahsulot unumi, katalitik sistema, erituvchi.

SYNTHESIS OF SIMPLE ESTERS BASED ON SOME ACETYLENE DIOLS AND BENZYL ALCOHOL

Abstract. In this work, the synthesis of simple ethers of various acetylene diols was studied. In the synthesis of simple ethers, the synthesis of a new generation of esters with high biological activity was studied based on the reaction of some acetylene diols, which were previously synthesized in the presence of copper (II) triflate, triethylamine and dichloromethane as a catalyst, with benzyl alcohol. The effects of the selected acetylene diol molecule, nature, temperature, reaction duration, catalyst and solvents, substrate and reagent amounts on the course of the reaction and product yield were studied, and the chemical activity was studied. A series of relative efficiency of the synthesis of the synthesized simple ethers was developed, and in turn, the specific constants, structure, purity, Rf value, elemental analysis and composition of the simple ethers were determined and analyzed using modern physicochemical research methods.

Keywords: Acetylene diols, benzyl alcohol, nucleophilic addition, reaction mechanism, simple ethers, product yield, catalytic system, solvent.

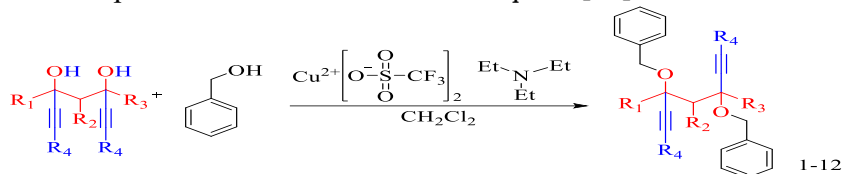
Kirish. Oddiy efirlar, organik kimyoda muhim birikmalar bo'lib, ular turli xil sanoat va laboratoriya jarayonlarida keng qo'llaniladi. Hozirgi kunda ushbu birikmalar, farmatsevtika, to'qimachilik, mashinasozlik va lok-bo'yoq sanoatida keng miqyosda qo'llaniladi, shuningdek, atsetilen diollari molekulasidagi gidroksil guruhidagi harakatchan faol vodorod hamda turli xil tabiatga ega bo'lgan o'rinbosarlar va funksional guruhlar borligi hisobiga, atsetilen diollari gidroksil guruhidagi vodorodi hisobiga nukleofil almashinish reaksiyasi ketadi, shuning uchun bunday spirtlar asosida turli xil qimmatbaho organik moddalar sintez qilinmoqda [1-3].

Adabiyotlar sharhi. Atsetilen diollari molekulasidagi gidroksil guruhi kuchli nukleofil reagentlar ta'siriga chidamsiz bo'lib, nukleofillar bilan to'g'ridan to'g'ri almashinish reaksiyasi ketadi. Jumladan, atsetilen spirtlari gidroksil guruhi eliminatsiyasi natijasida elektronlari tanqis bo'lgan karbakationlar hosil qiladi. Ushbu karbakationlar esa nukleofil reagentlar bilan reaksiyaga kirishib turli xil yangi turdagi organik birikmalarni sintez qilishga

xizmat qiladi [4-6]. Oxirgi yillarda turli xil tabiatga ega bo'lgan spirtlar, diollardan efirlar sintez qilingan [7]. Jumladan, so'nggi yillarda R.P. Redtenbaxer, V.V. Reppe, L.V. Ladenburg, J.R. Klemo, R. Perkin, Y.A. Trager, F.F. Beylshteyn, B.Tyullens, L. Shefer, M.F. Shostakovskiy, A.E. Favorskiy, B.A. Trofimov va A.V. Orlovlar [8-10] tomonidan turli funksional guruh saqlagan organik birikmalarning efirlarini sintez qilish ustida ilmiy tadqiqotlar olib borilgan [11].

Tajriba qismi. (Namuna sifatida 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-dioksi-3,5-dimetilendibenzol sintezi keltirilmoqda). Reaksiya 500 ml sig'imli, tubi yumaloq kolbada amalga oshirildi. Dastlab reaktorga mexanik aralashtirgich va ikki shoxli forshtoss o'rnatib, bitta shoxiga tomizgich voronka, ikkinchisiga esa "lovushka" orqali qaytarma sovutkich o'rnatib, 50 °C da suv hammomida amalga oshirildi (hammomga termometr o'rnatish kerak). Dastlab reaktorga 50 ml erituvchi CH₂Cl₂ solinib ustiga 36,2 gr (0,1 mol) mis (II) triflat (Cu(OTf)₂) va 20,2 ml 0,2 (mol) trietilamin (Et₃N) qo'shib xona haroratida 30 minut aralashtiriladi va hosil bo'lgan katalitik sistemaga 53 ml (0,5 mol) 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-diol-3,5 qo'shib 2 soat aralashtirilib turildi, bunda reaktordagi harorat 50 °C da ushlab turildi. So'ngra 2 soat davomida 54 ml (0,5 mol) benzil spirti aralashtirilgan holatda tomchilatib turildi. Jarayon 10 soat davomida tindirildi va aralashma sovuq suv bilan (1:1) suyultirildi va dietilefir yordamida 3 marta (3×50 ml) ekstraksiya qilindi, keyin qurituvchi Na₂SO₄ (yoki CaCl₂) bilan 6 soat davomida quritildi. Mahsulot filtrlab olinib, vakuumli bug'latgich yordamida erituvchilar bug'latildi, so'ngra Silikagel 60 xromatografiya kolonkasi orqali eluyent (geksan/etilasetat)lardan o'tkazilib, fraksiyalar yupqa qatlamli xromatografiya "Merck60 F254" plastinkasida R_f qiymati aniqlandi. Bunda 92 g 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-dioksi-3,5-dimetilendibenzol (86 %), 5,35 g oraliq mahsulot (5 %), 3,21 g boshlang'ich moddalar (3%) va 6,42 g qo'shimcha mahsulotlar (6%) unum bilan sintez qilishga erishildi. Ushbu usul bo'yicha **1.** 87% 3,4-dimetilgeksadiin-1,5-dioksi-3,4-dimetilendibenzol (R_f=0,45); **2.** 86,4% 3,5-dimetilgeptadiin-1,6-dioksi-3,5-dimetilendibenzol (R_f=0,48); **3.** 86% 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-dioksi-3,5-dimetilendibenzol (R_f=0,56); **4.** 85,3% 3,6-dimetiloktadiin-1,7-dioksi-3,6-dimetilendibenzol (R_f=0,44); **5.** 84,5% 3,5-dibenziloksi-5-metilgeptadiin-1,6-tiofenil-3 (R_f=0,37); **6.** 82,5% 3,5-dibenziloksi-5-triflorometilgeptadiin-1,6-tiofenil-3 (R_f=0,54); **7.** 83,1% 3,4-dibenziloksi-3,4-dimetilgeksadiin-1,5-diildibenzol-1,6 (R_f=0,55); **8.** 81,7% 3,5-dibenziloksi-3,5-dimetilgeptadiin-1,6-diildibenzol-1,7 (R_f=0,38); **9.** 83,8% 3,5-dibenziloksi-3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-diildibenzol-1,7 (R_f=0,53); **10.** 82,9% 3,6-dibenziloksi-3,6-dimetiloktadiin-1,7-diildibenzol-1,8 (R_f=0,65) **11.** 81,4% 3,5-dibenziloksi-5-metil-1,7-difenil-difenilgeptadiin-1,6-tiofenil-3 (R_f=0,62) **12.** 80,7% 3,5-dibenziloksi-1,7-difenil-5-triflorometilgeptadiin-1,6-tiofenil-3 (R_f=0,56) kabi oddiy efirlar sintez qilindi.

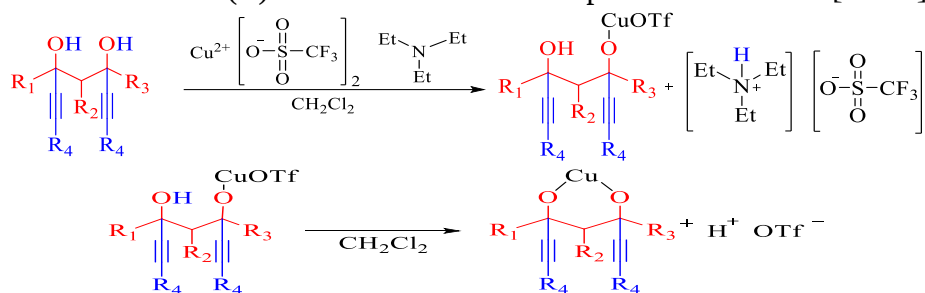
Reaksiya ximizmi va mexanizmi. Oddiy efirlarni sintez qilishda mis (II) triflormetilsulfonat Cu(OTf)₂ va asos sifatida trietilamin Et₃N tarkibli katalitik sistema va erituvchi dioxlor metan (CH₂Cl₂) yordamida benzilspirtining nukleofil birikish reaksiyasi mexanizmi taklif etildi [3,12-14,]. Bunda katalizator mis (II) triflormetilsulfonat, atsetilen diollidagi (OH) gidroksil guruhiga ikki bosqichda ta'sir etib kompleks birikmani hosil qiladi. Natijada sistemadagi mis (II) triflormetilsulfonat tuzining kation qismi reagent anioni bilan birikib barqaror nukleofil reagent mis (II) triflormetilsulfonat tuzini va elektrostatik tortishish kuchlari ta'sirida kompleks birikma H⁺ OTf⁻ ni hosil qiladi [15].



- R₁= Me, R₃= Me, R₄= H (**1**)
 R₁= Me, R₂= H, R₃= Me, R₄= H (**2**)
 R₁= Me, R₂= Me, R₃= Me, R₄= H (**3**)
 R₁= Me, R₂= 2H, R₃= Me, R₄= H (**4**)
 R₁= Th, R₂= H, R₃= Me, R₄= H (**5**)
 R₁= Th, R₂= H, R₃= CF₃, R₄= H (**6**)

- R₁= Me, R₃= Me, R₄= Ph (**7**)
 R₁= Me, R₂= H, R₃= Me, R₄= Ph (**8**)
 R₁= Me, R₂= Me, R₃= Me, R₄= Ph (**9**)
 R₁= Me, R₂= 2H, R₃= Me, R₄= Ph (**10**)
 R₁= Th, R₂= H, R₃= Me, R₄= Ph (**11**)
 R₁= Th, R₂= H, R₃= CF₃, R₄= Ph (**12**)

Birinchi bosqichda mis (II) triflat atsetilen diollining (OH) gidroksil guruhiga nukleofil birikishi ikki bosqichda amalga oshadi. Birinchi bosqichda Cu^{2+} ionlari gidroksil guruhining elektronlarini o'ziga tortadi va gidroksilni aktivlaydi va asos sifatida trietilamin aktivlangan gidroksilni protonlaydi, bu esa o'z navbatida gidroksil guruhining protonsiz holatini taminlab, nukleofil hujumni kuchaytiradi va protonsiz atsetilen dioli Cu^{2+} ioni bilan birikib mis (II) triflormetilsulfonat kompleksi hosil bo'ladi [16-18].



Keyingi bosqichda olingan mis kompleksi benzil spirti bilan ta'sirlashib oddiy efir olindi, Bunda bezil spirti o'zining gidroksil guruhini Cu^{2+} ga berib $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ni hosil qiladi va tegishli oddiy efir olindi [19-21].



Olingan natijalar tahlili. Ilk bor $\text{Cu}(\text{OTf})_2/\text{Et}_3\text{N}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ katalitik sistemasi yordamida tadqiqot obyekti sifatida tanlangan ayrim atsetilen diollarini benzil spirti bilan reaksiyasining borishi va mahsulot unumiga boshlang'ich moddalar, katalizator va erituvchilar tabiati hamda miqdori, harorat, reaksiya davomiyligi, ta'siri tizimli tahlil qilindi.

Dastlab oddiy efirlarni sintez qilish uchun boshlang'ich moddalarning, jumladan, substrat va reagentning mol miqdorlari ta'siri tahlil qilindi. (1-jadval).

1-Jadval

Oddiy efirlar unumiga boshlang'ich moddalar (substrat va reagent) miqdori ta'siri (reaksiya davomiyligi 4 soat, harorat 50 °C, erituvchi CH_2Cl_2)

Mol miqdori	Oddiy efirlar unumi, %											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,25:0,5	54	58	52,4	51,7	59	56	48	57,2	54,2	50	52	48,8
0,5:0,5	87	86,4	86	85,3	84,5	82,5	83,1	81,7	83,8	82,9	81,4	80,7
0,75:0,5	66,8	65,5	65	61,5	62,5	67,9	64,7	59,4	65,6	68,3	67	66,2
0,5:0,75	79,4	78,5	77,7	76,4	74,6	73	76	75,3	73,3	74	72,1	71

Yuqoridagi jadvaldan ko'rinib turibdiki, 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-diol-3,5 miqdori benzilspirtiga nisbatan ekvivalent miqdorda olinganda oddiy efirlar yuqori unum bilan, qo'shimcha mahsulotlar esa past unum bilan chiqishi aniqlandi. Benzilspirtining miqdori 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-diol-3,5 ga nisbatan 0,25:0,5 mol miqdorda olinganda benzil spirtining yetishmovchiligi sababli 3,4,5-trimetilgeptadiin-1,6-diol-3,5 bilan to'liq reaksiyaga kirisha olmasligi sababli mahsulot unumi kam chiqishi aniqlandi, benzil spirtining mol miqdorini oshirganimizda, yani 0,75:0,5 mol nisbatda olib borilganda, reaksiyada ortiqcha miqdorda benzilspirti oksidlanib benzil aldegidini hosil qildi va benzil aldegidi hosil bo'lgan oddiy efirning kislorodiga nukleofil hujum qilib benzoat ester hosil qilishi aniqlandi, natijada mahsulot unumining kamayishi kuzatildi. Agar atsetilen diollari ortiqcha miqdorda olinsa, ular bir-biri bilan kondensatsiyalanishi yoki polimerizatsiyalashuvi natijasida, yangi birikmalar yoki polimerlar hosil qilishi natijasida oddiy efirlarning unumi pasayishiga sabab bo'ldi.

$\text{Cu}(\text{OTf})_2/\text{Et}_3\text{N}$ katalizator va pramotning mol miqdori 0,05:0,1 mol miqdorda olinganda oddiy efirlarning chiqish unumi kam miqdorda hosil bo'lishi kuzatildi.

O'rganish natijalariga ko'ra katalizator va pramotr miqdori 0,1:0,2 mol miqdorda olinganda molekular to'liq ionlarga ajralishi hisobiga oraliq kompleks birikmalarning barqarorligi ortdi va katalizator o'zining yuqori faolligini ko'rsatdi va oddiy efirlar yuqori unum bilan sintez qilindi. Lekin katalitik sistema mol miqdori 0,2:0,3 mol nisbatga oshirilganda ortib qolgan katalizator hosil bo'lgan oddiy efir bilan reaksiyaga kirishib kompleks birikmalar yoki alkoksidlarni hosil qilishi hisobiga mahsulot unumi past chiqishi kuzatildi 2-jadval.

2-Jadval

Oddiy efirlar unumiga $\text{Cu}(\text{OTf})_2\text{:Et}_3\text{N}$ miqdori mol nisbati ta'siri
(harorat 50 °C, reaksiya davomiyligi 4 soat)

Oddiy efirlar	Mahsulot unumi, %		
	0,5:0,1	0,1:0,2	0,2:0,3
1	67	87	52
2	69	86,4	56
3	69	86	55
4	71	85,3	51
5	69	84,5	53
6	73	82,5	52
7	72	83,1	53
8	69	81,7	51,9
9	72	83,8	50,6
10	68	82,9	56
11	68	81,4	53,1
12	68,7	80,7	54,3

Oddiy efirlar sintezi uchun erituvchilar dimetilformamid (DMFA), DMSO hamda dioxlometan (CH_2Cl_2) larning mahsulot unumiga ta'siri o'rganildi (3-jadval). Foydalanilgan erituvchilar $\text{S}_{\text{N}}2$ reaksiyalari uchun qulay sharoitni namoyon qilsa-da, ammo mahsulot unumining CH_2Cl_2 da yuqori chiqishi tadqiqot natijalari asosida aniqlandi. Bunda DMFA va DMSO aproton erituvchilar bo'lib, nukleofil almashinish reaksiyalarining borishini osonlashtirdi. Ammo DMFA ning reaktorda fazoviy ikki xil konfiguratsiyasini hosil qilishi natijasida ionlar bilan to'qnashishlar sonining pasayishiga olib keldi, natijada efir hosilalarining eruvchanligi CH_2Cl_2 ga nisbatan past bo'lishi, o'z navbatida oddiy efirlarning unumi pasayishi aniqlandi.

3-jadval

Oddiy efirlar unumiga erituvchilar tabiatining ta'siri
(reaksiya davomiyligi 4 soat, harorat 50 °C)

Oddiy efirlar	Mahsulot unumi, %		
	DMFA	DMSO	CH_2Cl_2
1	52	76,3	87
2	56	75,6	86,4
3	55	74,2	86
4	53	73,8	85,3
5	54	73,5	84,5
6	51,7	71,2	82,5
7	53,9	74,5	83,1
8	51	73,4	81,7
9	52,5	72,4	83,8
10	50,7	71,6	82,9
11	47	70,8	81,4
12	43	68,1	80,7

CH_2Cl_2 ning DMFA va DMSO ga nisbatan dielektrik o'tkazuvchanlik konstantasi yuqoriligi sababli, uning atsetilen diollari yaxshi eritishi aniqlandi va CH_2Cl_2 qolgan erituvchilarga qaraganda sistemadagi kationlarning barqarorligini oshirib, qisman katalitik xossasini namoyon qilishi va sistemada qo'shimcha moddalar hosil bo'lishi kuzatilmadi va mahsulot unumining oshishiga olib keldi.

Oddiy efirlar unumiga harorat ta'sirini o'rganish va muqobil sharoitni aniqlash

maqsadida, reaksiyalar 25 va 75 °C intervallarda olib borildi (4-jadval). Dastlab jarayon xona haroratida olib borildi. Bunda olingan efirlarning unimi past chiqishi kuzatildi. Jarayonni 50 °C ga oshirganimizda promotr Et_3N atsetilen diollaridagi (OH) gidroksil guruhni pratonlashi natijasida katalizator $\text{Cu}(\text{OTf})_2$ ning birikishi jarayonini tezlashtirib, oddiy efirlarning yuqori unum bilan chiqishi uchun qulay muhit yaratdi.

4-jadval

Oddiy efirlar unumiga harorat ta'siri
(reaksiya davomiyligi 4 soat, erituvchi CH_2Cl_2)

Oddiy efirlar	Mahsulot unimi, %		
	25 °C	50 °C	75 °C
1	57,1	87	81,4
2	56	86,4	80,5
3	55	86	79
4	53	85,3	77,8
5	54	84,5	75,2
6	51,7	82,5	74,6
7	53,9	83,1	78,3
8	51	81,7	77,5
9	52,5	83,8	76,6
10	50,7	82,9	75,1
11	47	81,4	74,5
12	43	80,7	72,8

Ammo haroratning 75 °C ga oshirilishi mahsulot unumida biroz pasayish kuzatildi, hosil bo'lgan oddiy efirlar qaytadan boshlang'ich moddalarga aylanishi yoki atsetilen diollari degidratlanishi natijasida efirlar, qisman eninlarga aylanishining mahsulot unumiga salbiy ta'sir etishi aniqlandi. Ushbu usul yordamida **1.** 87% **2.** 86,4% **3.** 86% **4.** 85,3% **5.** 84,5% **6.** 82,5% **7.** 83,1% **8.** 81,7% **9.** 83,8% **10.** 82,9% **11.** 81,4% **12.** 80,7% unim bilan sintez qilindi.

Xulosalar. Ilk bor $\text{Cu}(\text{OTf})_2/\text{Et}_3\text{N}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ katalitik sistemi yordamida ayrim atsetilen diollarini benzil spirt reaksiyasi orqali oddiy efirlarni sintez qilishning eng optimal usuli tadqiq qilindi.

Olib borilgan tadqiqot natijalariga ko'ra, atsetilen diollari sintez qilish jarayoni $\text{Cu}(\text{OTf})_2/\text{Et}_3\text{N}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ yuqori asosli katalitik sistema yordamida CH_2Cl_2 eritmasida, 4 soat davomida, 50 °C haroratda olib borilganda mahsulot unumi yuqori chiqishi aniqlandi va jarayon uchun eng muqobil sharoit qilib tanlandi.

Mahsulot unumiga boshlang'ich moddalar va katalizator miqdori, reaksiya davomiyligi va haroratning tasiri o'rganildi hamda sintez qilingan birikmalarning ayrim xususiy kattaliklari aniqlandi. O'rganish natijalariga ko'ra mahsulot unumi $12 < 11 < 8 < 10 < 6 < 7 < 9 < 5 < 4 < 3 < 2 < 1$ qatorida oshib borishi aniqlandi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. G.F.D'aleluo, R.C.Evers Linear polymers of acrylyc monomers containing a acetylenic moiety. J. Polym. Sci., 1967, part A-I, v. 5, p. 818-832.
2. G.F.D'aleluo, R.C.Evers Linear polymers of some vinyl monomers containing atrminal acetylenic group. J. Polym. Sci., 1967, part A-I, Voluemu. 5, p. 999-1014.
3. Pandev A.R., Tiwari D.K., Prakhar A., Mishra D.P., Sharma S.K. A Review Towards Synthesis of Heterocycles Using Propargyl Alcohols and Propargyl Amines // Monatsh Chemistry, 2022, Volume 153, pp. 383-407.
4. Surendra Puri Oxygen Heteroatom in Propargylic Alcohols: Reactivity, Selectivity and Applications // Organic & Supramolecular Chemistry, 2020, Volume 5, Issue 31, pp. 9866-9877.
5. Караев С.Ф., Гараева Ш.В. Пропаргиловые эфиры. - Успехи химии, 1980, т. 49, вып. 9, -С. 1775-1800.
6. Иванов Е.С. Ацетиленовые эфиры - эффективные ингибиторы коррозии стали. Тезисы докладов VI Всесоюзный научной конференции по химии ацетилена.- Баку, изд-во Азинефтехим. 1979, -С. 19.
7. Велиев М. Г., Садыгов О. А., Мамедова Н.А., Мустафаев С.А. Этирификация ацетиленовыми спиртами нефтяных нафтенных кислот // Нефтехимия, 2009, том 49, № 3, с 247-252.

8. Дюсебаева М. А., Калугин С.Н., Ахмедова Ш.С. Синтез эфиров на основе ненасыщенных спиртов гетероциклического ряда // Серия химии и технологии 2015 Volume 5, № 413, с 149-153.
9. Otera J, Nishikido J. Esterification: Methods, Reactions, and Applications, 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2009. DOI: 10.1002/9783527627622
10. Hirose D, Gazvoda M, Kosmrlj J, Taniguchi T. Advances and mechanistic insight on the catalytic Mitsunobu reaction using recyclable azo reagents. // Chemical Science. 2016; Volume 9, Issue 7, pp. 5148-5159.
11. Hirose D, Taniguchi T, Ishibashi H. Recyclable Mitsunobu reagents: Catalytic Mitsunobu reactions with an iron catalyst and atmospheric oxygen. // Angewandte Chemie, International Edition. 2013, Volume 4, Issue 52, :pp. 4613-4617.
12. Mitsudo T, Hori Y, Yamakawa Y, Watanabe Y. Ruthenium-catalyzed selective addition of carboxylic acids to alkynes. A novel synthesis of enol esters. The Journal of Organic Chemistry. 2017; Volume 9, Issue 52, pp. 2230-2239.
13. Katsuki Ohta, Eri Koketsu, Yuya Nagase, Nami Takahashi, Hiroyasu Watanabe, Mitsuhiro Yoshimatsu Lewis Acid-Catalyzed Propargylic Etherification and Sulfanylation from Alcohols in MeNO₂–H₂O // Chemical and Pharmaceutical Bulletin 2011, Volume 7, Issue 59(9) pp. 1133—1140.
14. Francis Mariaraj Irudayanathan, Jimin Kim, Kwang Ho Song, Sunwoo Lee Transition-Metal-Free Decarboxylative Coupling Reactions for the Synthesis of Propargyl Alcohols // Asian Journal of Organic Chemistry, 2016, Volume 5, pp. 1148-1154.
15. Samatov S. B. Benzaldegidning turli hosilalarini alkinillash asosida atsetilen spirtlari sintezi: Kimyo fan. fals. dokt. (PhD) diss. 100-107 b.
16. Зиядуллаев О.Э., Икрамов А.И., Нурманов С.Э., Мирхамитова Д.Х., Мавлоний М.Э. Реакции ароматических ацетиленовых спиртов с некоторыми ненасыщенными карбоновыми кислотами // II-nd International Kazakhstan-Russian Conference on Chemistry and Chemical Engineering. – Karaganda: Kazakhstan, 2012. Vol. 1. – С. 377-380.
17. Boytemirov O.E., Ziyadullayev O.E., Abdurahmanova S.S., Samatov S.B., Ikramov A., Qo'shbaqov F.Z. Synthesis of vinyl ethers of some acetylene alcohols // VI North Caucasus organic chemistry symposium, 2022, Ставропол, с. 154.
18. Ziyadullayev O.E., Jo'rayev O.E., Mirxamitova D.X. Ketonlar asosida neft mikroorganizmlarga qarshi ingibitorlar yaratish va ularni sintez qilish texnologiyasi // Kimyo va kimyo texnologiyasi, 2012, № 4. – 45-47 б.
19. Boytemirov O.E., Ziyadullayev O.E., Abdurahmanova S.S., Samatov S.B., Ikramov A., Qo'shbaqov F.Z. Synthesis of vinyl ethers of some acetylene alcohols // VI North Caucasus organic chemistry symposium, 2022, Ставропол, с. 154.
20. Абдурахманова С.С., Зиядуллаев О.Э., Отамухамедова Г.Қ., Тиркашева С.И., Саматов С.Б. Юкори асосли каталитик система ёрдамида нефт саноати биокоррозисига қарши ингибиторлар синтези // Республиканской научно-технической конференции “Инновационные разработки в сфере науки, образования и производства-основа инвестиционной привлекательности нефтегазовой отрасли”. - Ташкент, 2019. – С. 323-328.

PACHKAMAR SUV OMBORI HAVZASIDAGI BA'ZI JONZOTLAR RADIOAKTIVLIGI

A.T.Xudayberdiyev

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

O.B. Mamatqulov

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

orifjon.m1974@gmail.com

ORCID 0009-0004-0540-6373.

UDK 539.16.04

Annotatsiya. Pachkamar suv ombori havzasida yashovchi baliq va mollyuskalarda tabiiy radionuklidlar – ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th va texnogen – ¹³⁷Cs ning solishtirma aktivligi o'lchovlari keltirilgan. Qisqichbaqasimonlarda ²²⁶Ra, ²³²Th va ⁴⁰K to'planishi baliqlarga qaraganda yuqori ekanligi ko'rsatilgan. Baliqlardagi ¹³⁷Cs ning o'ziga solishtirma aktivligi mollyuskalarga qaraganda qariyb uch baravar yuqori ekanligi ko'rsatilgan. Ushbu holat quyidagi omillar tufayli yuzaga keladi: organizmda radionuklidlarning to'planish yo'llari, jonzotlarning funksional o'ziga xosligi, ularning trofik ixtisoslashuvi va tana yuzasining kattaligi. Suv havzasi o'simliklari va hayvonlarida ba'zi radionuklidlarning selektiv to'planishining o'ziga xos xususiyatlari muhokama qilinadi: baliqlarning ifloslanishi radioaktiv moddalarning tana yuzasi

tomonidan to'g'ridan to'g'ri adsorbsiyasi, oziq-ovqat bilan ta'minlanganda va organizm va atrof-muhit o'rtasidagi boshqa metabolik jarayonlar natijasida yuzaga kelishi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: radionuklidlar to'planishi, ifloslanish, baliqlar, mollyuska, texnogen.

RADIOACTIVITY OF SOME INHABITANTS IN THE PACHKAMAR WATER RESERVOIR BASIN

Abstract. Measurements of specific activity of natural radionuclides – ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and technogenic – ^{137}Cs in fish and the mollusks inhabiting Pachkamar water reservoir basin are presented. It is shown that accumulation of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in mollusks is higher than in fish. On the contrary, the ^{137}Cs specific activity in fishes three times exceeded those ones in mollusks. This phenomenon is caused by following factors: ways of radionuclides accumulation in organism, functional features of animals, their trophic specialization and the size of body's surface. Specificity of selective accumulation of separate radionuclides in plants and water animals is discussed: it is indicated that fish pollution occurs through the direct adsorption of radioactive substances by the surface of the body, when ingested with food and as a result of other metabolic processes between the body and the environment.

Keywords: accumulation of radionuclides, pollution, fishes, mollusks, technogenic.

Kirish. Ko'plab atrof-muhitni ifloslantiruvchi moddalar orasida radionuklidlar va og'ir metallar tirik organizmlar, shu jumladan, odamlar uchun eng zaharli hisoblanadi. Ular chang, aerozollar va eritmalar ko'rinishidagi organik va noorganik birikmalar shaklida atmosfera havosi, tabiiy va oqova suvlar tomonidan hosil bo'lish manbasidan uzoq masofalarga tashiladi va keng hududlarni ifloslantiradi. Atrof-muhitga chiqarilgan radionuklidlar va og'ir metallar tezda trofik zanjirlarga qo'shiladi va "atmosfera-tuproq-o'simlik-hayvon-odam" tizimiga o'tadi. Tirik organizmlarning organlari va to'qimalarida to'planib, radionuklidlar va og'ir metallar radiatsiya, kanserogen va mutagen ta'sirning ichki manbalariga aylanadi [1,2].

Tabiiy suvlar tarkibida ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{234}U tabiiy radionuklidlar, shuningdek ^{40}K , ^{87}Rb tabiiy radioaktiv izotoplar mavjudligi aniqlangan. Suvdagi tabiiy radionuklidlarning konsentratsiyasi juda keng oraliqlarda o'zgaradi va asosan suvosti jinslari va tuproqning radionuklid tarkibiga bog'liq [3].

Bundan tashqari, turli mamlakatlar tomonidan atmosferada va suv ostida o'tkazilgan yadro sinovlari, radioaktiv chiqindilarni daryolarga tashlash, yadroviy qurilmalardagi avariylar tabiiy muhitning, shu jumladan, suv omborlarining ^{137}Cs va ^{90}Sr kabi texnogen radionuklidlar bilan ifloslanishiga olib keldi [4].

Texnogen ^{137}Cs va ^{90}Sr radionuklidlar suvlarda yuqori dispersli va aralash holda uchraydi, bu ularning biotik tizimlarning metabolik jarayonlarida intensiv ishtirok etishiga yetarli sharoit yaratib beradi.

Suv muhitida, suv o'tlarida va suvosti jinslarida mavjud bo'lgan radioaktiv moddalar suvda yashovchi jonzorlar tomonidan iste'mol zanjirlari bo'ylab boshqa mineral elementlar kabi chegara to'qimalari orqali so'rilishi mumkin.

Ba'zi suv o'tlari mollyuskalar uchun oziq-ovqat bo'lib xizmat qiladi. Mollyuskalar esa baliq tomonidan iste'mol qilinadi. Suv o'tlari suvdan hamda suvosti jinslaridan tabiiy radionuklidlarni o'zida to'plashi mumkin. Suv hayvonlari tanasidagi turli radioaktiv elementlar turli miqdorda to'planadi va bu miqdorlar suvdagi, suv havzasi tubidagi va suv o'tlaridagi radionuklidlarning tarkibiga, hayvonlarning o'ziga xos xususiyatlari va tashqi tuzilishiga bog'liq.

Masalan, dengiz planktonidagi radiy-226 va uran konsentratsiyasi 100 pKyuri/kg gacha yetadi va toriy miqdori esa yangi to'qimalarda 25 pKyuri/kg dan oshmaydi. Mollyuskalar qobig'ida radionuklidlarning intensiv to'planishi aniqlangan [5].

Ma'lumki, baliq mahsulotlarini iste'mol qilish butun dunyoda o'sib bormoqda. Ushbu mahsulot miqdori va sifati baliq turiga, uning kelib chiqishi tabiatiga (tabiiy yoki sun'iy sharoitda yetishtirilganligiga) bog'liq. Miqdor jihatidan baliqlarning mushak to'qimalari ularning umumiy massalarining 40-50% ini tashkil etadi. Bundan kelib chiqadiki, inson baliq iste'mol qilganida dozaning asosiy qismi uning mushak to'qimalaridan o'tadi [6].

Tadqiqot obyekti. Pachkamar suv ombori – Qashqadaryoning kam suvli chap irmog‘i – G‘uzor daryosida barpo etilgan yirik gidrotexnika inshootidir. G‘uzor tumani markazidan 15 km yuqorida joylashgan. Kattao‘ra va Kichiko‘ra daryolaridan to‘ldiriladi. Qurilish ishlari 1964-yilda boshlanib, 1967-yilda foydalanishga topshirilgan, 1968-yilda to‘liq qurib bitkazilgan. Omborning suv yuzasi uzunligi 3,9 km, kengligi 1,8 km. Suv yuzasi maydoni 12,8 km², eng katta (maksimal) chuqurligi 51 m, o‘rtacha chuqurligi 30 m. Suv ombori daryoning mavsumiy va qisman ko‘p yillik suv rejimini tartibga soladi. To‘g‘onning ustki uzunligi 593 m, balandligi 68 m. Suv omborining o‘ng qirg‘og‘ida uzunligi 198 m va maksimal balandligi 12 m bo‘lgan ko‘tarma damba qurilgan. Omborning o‘ng sohilida suv sarfi 30 m³/s bo‘lgan suv chiqargich qurilgan. Suv chiqargichning quyi qismiga 2 ta konussimon rostlagich o‘rnatilgan. To‘g‘onning chap tomonida suv sarfi 260 m³/s (favqulodda toshqinlarda suv sarfi 480 m³/s) bo‘lgan suv tashlagich – Chap sohil kanali ochiq holda qurilgan. Suv omborining qurilishi G‘uzor tumanining suv ta‘minotini yaxshilashda va uning iqtisodiyotida muhim rol o‘ynaydi, ekin maydonlarini 15 ming gektarga oshirish imkonini berdi. Pachkamar suv omborida baliqchilik xo‘jaligi tashkil etilgan. Suv omborining hayvonot dunyosi qariyb 60 yil ichida o‘ziga xos tarzda shakllangan. Ushbu maqolada tajribaviy tekshirish uchun Pachkamar suv omboridagi sharoitga juda mos kelgan baliq turlaridan Karas (lat. *Carassius*) baliqlari tanlab olingan.



1-rasm. G‘uzor tumani Pachkamar suv ombori.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu ishda ssintillyatsion gamma-spektrometriya usuli yordamida Pachkamar suv ombori havzalaridan tutilgan mollyusakalar va baliqlardagi tabiiy radionuklidlar ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K va texnogen radionuklid ¹³⁷Cs ning solishtirma radioktivligi aniqlangan.

Mollyuskalar (*Unionidae*) va baliqlar (*Carassius*) butunligicha quritildi, maydalandi, og‘irligi tortildi. Tayyorlangan namunalar bir litrli Marinelli idishlariga qadoqlandi. Namunalarning og‘irligi 1000-1200 grammni tashkil etadi. Namunalarning gamma-spektrlarini o‘lchash Marinelli geometriyasida ⁶⁰Co izotopining energiyasi $E = 1332$ keV bo‘lgan gamma-nurlanish chizig‘ida 10% energetik ajratuvchanlikka ega NaI(Tl) (63×63 mm) ssintillyatsion detektorli gamma-spektrometrda bajarildi.

Gamma-nurlanishi spektrlari 1024 kanalli impuls analizatori rejimida ishlaydigan PC-IBM kompyuter xotirasida qayd etildi. O‘lchov jarayonlari davomiyligi 2 soatni tashkil etdi. Spektrlarda aniqlangan fotopiklarni identifikatsiyalash kvant chiqish parametrlari, yarim yemirilish davri va fotopiklarning spektrdagi joylashgan o‘rnini hisobga olgan holda energiyalariga ko‘ra amalga oshirildi. Namunalarning barcha o‘lchangan gamma-spektrlarida tabiiy radionuklid ⁴⁰K ning $E=1460$ keV energiyali fotopiki yaqqol namoyon bo‘ldi. Shuningdek, uran-toriy oilalarining radionuklidlari, texnogen radionuklid ¹³⁷Cs ning $E = 661$ keV energiyali fotopiklari kuzatildi.

Spektrlarda mavjudligi ma‘lum bo‘lgan radionuklidlarning solishtirma aktivligi taqqoslash usuli yordamida hisoblandi. Bunda OMASN (maxsus maqsadlar uchun hajmiy aktivlik jamlanmasi) tarkibiga kiritilgan ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ¹³⁷Cs kabi radioaktiv manbalar ishlatilgan.

Natijalar va muhokama. Tadqiqotlar natijasida radionuklidlarning solishtirma

aktivligi uchun olingan ma'lumotlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Mollyuska va baliqlarda radionuklidlarning solishtirma aktivligi (Bk/kg).

Radionuklid	Mollyuskalarda	Baliqlarda
^{226}Ra	<11,04*	<6,11
^{232}Th	<8,02	<3.03
^{40}K	<71.14	<60.07
^{137}Cs	<4.06	<12.33

*) < – belgisi berilgan o'lchov vaqti uchun spektrometrning sezgirligiga mos keladi.

Ushbu ma'lumotlardan kelib chiqadiki, mollyuskalar va baliqlarning radioaktivligi asosan ^{40}K tabiiy radioaktiv izotop va qisman uran va toriy qatorlariga tegishli radionuklidlar, shuningdek, texnogen radionuklid ^{137}Cs ning hissasiga to'g'ri keladi. Baliq va mollyuskalardagi ^{40}K radioaktiv izotopining solishtirma aktivligi qiymatlari bir-biridan katta farq qilmaydi. Mollyuskalarda ^{232}Th , ^{40}K ^{137}Cs radioaktiv izotoplarning to'planishi baliqlarga qaraganda ancha ko'proq ekanligini 1-jadvalda keltirilgan ma'lumotlardan ko'rish mumkin.

^{40}K radioaktiv izotopi tabiatda keng tarqalgan elementlardan biri bo'lib hisoblanadi. Baliq va mollyuskalarda ^{40}K radioaktiv izotopining yuqori darajada to'planishi bu izotopning suv tarkibidagi konsentratsiyasi ham yuqori darada ekanligini ko'rsatadi. ^{40}K radioaktiv izotopining asosiy massasi boshqa elementlar singari, vulqonlar natijasida yer ostidan otilib chiqqan tog' jinslarida bo'ladi. ^{40}K radioaktiv izotopining Yer qobig'idagi tarkibi 2,4% ni tashkil qiladi [5]. Tog' jinslarining atmosfera yog'inlari (yomg'ir, qor va sh.k) va boshqa suvlar bilan yuvilishi natijasida ^{40}K radioaktiv izotopi nisbatan oson yuviladi, suyuq qorishmalar shaklida qisman suv havzalariga yetib keladi. Daryo suvining radioaktivligi asosan ^{40}K radioaktiv izotopining hissasiga to'g'ri kelishi aniqlandi [8].

Radiy ham tog' jinslaridan nisbatan osonlik bilan erib ajraladi. Bunga sabab uning minerallar kristall panjaralari tashqarisida joylashganligi bo'lishi mumkin [5]. Radiy minerallardan suv havzalariga o'tadi, uning ma'lum qismi asta-sekin suv omborining tubiga cho'kadi. Shu bilan cho'kindi jinslarning shakllanishida ishtirok etadi. Radiy tuproqdan, shuningdek, loydan uranga qaraganda ancha sustroq yuviladi. Bu esa radiyning loy tarkibida yig'ilib qolishiga olib keladi [7]. Toriy tabiiy suvlarda kam eriydi, shuning uchun suv tarkibida toriy urandan yuzlab marta kamroq bo'ladi. Toriy suvosti gillariga eritmalaridan emas, balki dastlab mavjud bo'lgan magmatik jinslarning parchalanishidan kiradi. Toriyning asosiy massasi loy cho'kindilarda jamlanganligi ma'lum [9].

Mollyuskalarda tabiiy radionuklidlarning yuqoriligi ehtimol suv ombori tubida, suv o'tlari va unga yaqin joylarda radionuklidlarning to'planib qolishi bilan bog'liq. Baliqlarda radionuklidlarning to'planishiga suv va suv o'tlari kabi baliq tomonidan oziq-ovqat sifatida iste'mol qilinadigan muhitlar sabab bo'ladi.

Jadvaldagi ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, baliq va mollyuskalarda ^{137}Cs texnogen radionuklidining solishtirma aktivligida sezilarli farq bor, ya'ni baliqda ^{137}Cs ning solishtirma aktivligi mollyuskalardagiga qaraganda 3 baravar yuqori. Ko'rinishidan, buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Yadroviy portlashlar natijasida hosil bo'luvchi ^{137}Cs va ^{90}Sr suv tarkibida yuqori dispersli va eritma shaklda bo'ladi, bu ularning biotik tizimlar metabolik jarayonlarida intensiv ishtirok etishiga yordam beradi. Portlash natijasida hosil bo'luvchi mahsulotlarning salmoqli qismi suvda eritma holatda bo'ladi, shuning uchun ular suv havzalarining yuqori qatlamlarida uzoq vaqt qolishi mumkin [7]. Suvda yashovchi hayvonlar o'z to'qimalarida favqulodda qobiliyatlariga ko'ra o'zlari tanlagan radionuklidlarni to'plash qobiliyatiga ega ekanligi aniqlandi. Bu xususiyatni ularning funksional o'ziga xosligi bilan tushuntirish mumkin. Masalan, qo'ng'ir suv o'tlarining konsentratsiya koeffitsiyenti 20 dan 40 gacha. Yashil rangli suv

o'tlarida esa ^{90}Sr deyarli to'planmaydi. Dengiz fitoplanktoni intensiv ravishda ^{60}Co va ^{65}Zn konsentrlaydi. Biroq, ^{137}Cs texnogen radioaktiv izotopi ular tomonidan deyarli sezilmaydi.

Umurtqasiz jonzoqlar suvni filtrlaganda undagi radioaktiv moddalarni o'zlashtirib olish qobiliyatiga ega. Umurtqasizlar tomonidan radioizotoplarining to'planishi ifloslangan yemishlarni iste'mol qilishda ham sodir bo'ladi, ikki pallali to'qimalarda ^{137}Cs texnogen radioaktiv izotopining to'planish koeffitsienti 20-50 ni tashkil qiladi. ^{137}Cs texnogen radioaktiv izotopi asosan mollyuskalar mushaklarida to'planadi.

Radioaktiv moddalarning baliq tanasiga kirib borishi jabralari, terisi, hamda ovqat hazm qilish trakti orqali ifloslangan yemishlarni iste'mol qilish va suvni yutish paytida sodir bo'ladi. Radionuklidlar tashqi to'qimalarga saralanmasdan to'liq joylashadi. Qator tadqiqodchilar tomonidan baliq to'qimalarini radiokimyoviy tahlil qilish ustida olib borilgan izlanishlari natijasi shuni ko'rsatdiki, ^{137}Cs texnogen radioaktiv izotopi asosan mushaklarda va ba'zi parenximatoz organlarda to'planar ekan. Baliqlarning ichki to'qimalarining radionuklidlar bilan ifloslanish darajasi suvning solishtirma aktivligidan past ekanligi aniqlandi. Faqat jabralari, qanotlari va bosh qismi ^{137}Cs va ^{90}Sr texnogen radioaktiv izotoplarni suvning solishtirma aktivligidan bir necha baravar yuqori miqdorda to'pagan [7].

Xulosa va takliflar. Shunday qilib, suvosti jonzoqlari o'z to'qimalarida radionuklidlarni tanlab to'plash qobiliyatiga ega ekanligini hisobga olsak, mollyuskalar va baliqlardagi ^{137}Cs texnogen radioaktiv izotopining solishtirma aktivligidagi farqni tushunish mumkin, bu ularning funksional xususiyatlari bilan belgilanadi. Bundan tashqari, suvosti jonzoqlarining tashqi to'qimalarida radionuklidlarning to'planish intensivligi asosan ularning tashqi sirti yuzasining katta yoki kichikligiga bog'liq. Tanasining yuzasi nisbatan kattaroq bo'lgan jonzoqlarda adsorbsiya samaraliroq bo'ladi. Baliqlar mollyuskalarga qaraganda nisbatan katta maydonga ega. Shunday qilib, bizning tajribalarimizda baliqlarning radioaktivligi butunlay o'lchandi, shu jumladan, jabralar, qanotlar va bosh qismlari. Suvning radioaktiv ifloslanish manbai barqaror bo'lishi mumkin emas va tez-tez o'zgarib turadi, bu esa o'z navbatida baliq va boshqa suvosti jonzoqlarining radioaktiv ifloslanish xavfini kamaytiradi.

Shuni ta'kidlash joizki, o'lchashga tayyorlangan baliq namunalari tarkibidagi radionuklidlar miqdori ruxsat etilgan me'yordan ortiq bo'lgan holatlar kuzatilmadi. Unga muvofiq, ^{137}Cs texnogen radioaktiv izotopining tirik baliqlar uchun ruxsat etilgan dozasi $<130 \text{ Bk/kg}$ [10] ekanligini hisobga olsak, Pachkamar suv ombori havzasi baliqlari iste'mol uchun mutlaqo yaroqli degan xulosaga kelamiz.

Foydalanilgan dabiyyotlar

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. – Москва: Мир, 1990. – С.15.
2. Вредные химические вещества. Под общ. ред. Ильина Л.А. и Филова В.А. – Л.: Химия, 1990.
3. Сафаров А.А., Салимов М.И., Усмонов Т.М. и др. Суммарная альфа и бета активность питьевой воды в Ташкентском регионе Узбекистана. // Samarqand davlat universiteti ilmiy axborotnomasi. Aniq va tabiiy fanlar seriyasi. 2016, №5 (99). – С.32-33.
4. Моисеев А.А. Цезий-137. Окружающая среда. Человек. – Москва: Энергоатомиздат, 1985.
5. Перцов А.А. Ионизирующие излучения биосферы. – Москва: Атомиздат, 1973. – С.26-97, 218, 220, 236-248.
6. Бондарева Г. Исследования по накоплению трития некоторыми водными организмами: икра и рыба (*carassius gibelio*), водные растения (*ceratophyllum* и *lemna*). // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020, том 60, № 1. – С.71-81.
7. Сауков А.А. Радиоактивные элементы Земли. – Москва: Атомиздат, 1961. – С.45-53, 120.
8. Кочан Р.М., Назаров И.М. Основы гамма-спектрометрии природных сред. – Москва: Атомиздат, 1969. – С.18-21.
9. Иззатуллаев З.И., Ахмедова Г., Боймуродов Х., Носиров А. Радиоактивность глины и двухстворчатых моллюсков бассейна р.Зарафшан // Узбекский биологический журнал. 2002, №1. – С.48-51.
10. СП № 611 Санитарно-эпидемиологические требования к пищевой продукции. Министерство здравоохранения РК. 06.08.2010г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО МЕСТНОГО СЫРЬЯ УЗКОПАЛЬНОГО РАКА (*PONTASTACUS LEPTODACTYLUS*) В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИРОДНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ ХИТИНА И ХИТОЗАНА

Курбонова Феруза Нуруллоевна

Доцент (PhD) кафедры медицинской химии Бухарского государственного медицинского института

Махмудов Султон Обит угли

Ассистент кафедры медицинской химии Бухарского государственного медицинского института

gurbonova_f86@mail.ru

УДК 541.64; 547

Аннотация. В настоящее время природные полимеры - хитин, хитозан (ХЗ) и его производные - представляют значительный интерес в области химии и химической технологии. Их получают путём химической, физической или ферментативной модификации хитозана. Хитин и его производный - хитозан являются наиболее распространёнными биологически активными полимерами. Благодаря своей высокой биологической активности эти биополимеры активно внедряются в различные сферы жизнедеятельности человека.

В качестве функциональных материалов хитин и хитозан обладают уникальным набором характеристик: биосовместимость, биоразлагаемость до безвредных продуктов, нетоксичность.

Уникальные свойства хитина и хитозана привлекают внимание многих специалистов в различных областях науки. Роль биополимеров в нашей жизни признается всеми. В данной статье представлены результаты получения биополимера хитозана из нового перспективного источника – узкопального рака. Также приведены сведения об узкопалом крабе и его распространении на территории Узбекистана.

Ключевые слова: Хитин, хитозан, биополимер, ракообразные, узкопалый рак.

USE OF NEW LOCAL RAW MATERIAL FROM (*PONTASTACUS LEPTODACTYLUS*) IN THE PRODUCTION OF NATURAL BIOPOLYMERS OF CHITIN AND CHITOSAN

Abstract. Currently, natural polymers chitin, chitosan (CH) and its derivatives, which are obtained by chemical, physical or enzymatic modification of chitosan, are of great interest in the world in the field of chemistry and chemical technology. Chitin and its derivative, chitosan, are the most common biologically active polymers. Due to their high biological activity, these biopolymers are actively being introduced into various spheres of human life.

As functional materials, chitin and chitosan have a unique set of characteristics: biocompatibility, biodegradability to harmless products, non-toxicity.

The unique properties of chitin and chitosan attract the attention of many specialists in various fields of science. Everyone recognizes the role of biopolymers in our lives. This article presents the results of obtaining chitosan biopolymer from a new promising source - narrow-fingered crayfish. Information about the narrow-toed crab and its distribution in Uzbekistan is also provided.

Keywords: Chitin, chitosan, biopolymer, crustaceans, narrow-clawed crayfish.

Введение. Возможности варьирования свойств полимеров и создания на их основе иммобилизованных соединений позволяют разрабатывать лекарственные препараты с регулируемым высвобождением лекарственных веществ. Особенно актуально использование в этом направлении гидрофильных набухающих полимеров, обладающих не только формообразующей способностью, но и спектром функциональных свойств и высокой биосовместимостью с тканями макроорганизма, таких как полисахариды и аминопалисахариды, к которым относятся хитин и хитозан [1-2].

Цель исследования найти и изучить новые природные источники биополимеров хитина и хитозана в условиях Узбекистана и синтезировать из них биоактивные хитин и хитозан, используемые в продуктах питания и медицине.

Биополимеры хитина и хитозана начали привлекать внимание ученых еще 2000 лет назад. Хитин впервые был открыт в 1811 Х. Бракконо и А. Одье. Хитозан был открыт С. Руже в 1859 г. и назван Ф. Хоппе-Зейлером в 1894 г. Интерес к

хитину и его производству возрос в первой половине 20 века. В частности, в этом процессе принимают непосредственное участие 3 нобелевских лауреата: в 1903 г. Ф. Фишер синтезировал глюкозамин, в 1929 г. П. Каррер осуществил расщепление хитина хитозаном, а в 1939 г. В.Х. Хаворт создал общую конфигурацию глюкозамина [3].

Основными источниками хитина являются ракообразные, членистоногие, насекомые и грибы. В настоящее время лучшим источником хитина и хитозина являются членистоногие, то есть ракообразные. В качестве промышленного сырья для получения хитозана используют отходы переработки панцирей морских ракообразных: крабов, креветок, омаров. Главная особенность этого сырья в том, что для его выращивания и направления не требуется много ресурсов. В роговом покрове ракообразных присутствует α -форма хитина, состоящая из 19 молекулярных цепей длиной 0,3 мкм., диаметр образует нанофибриллы 3 нм. Хитин образует комплексы с белками, взаимодействует с аскорбиновой кислотой или остатками гистидина с минералами (аморфными карбонатами, фосфатом кальция и пигментами лютеином, β -каротином, астаксантином) и создает механическую прочность и эластичность [4-5].

В Узбекистане источниками хитина и хитозана являются куколки тутового шелкопряда (академик С.Ш. Рашидова и его ученики) и подмор пчел (профессор Г.А. Ихтиярова и его ученики), в этой области ведутся обширные научные исследования. [6].



Рисунок-1. Узкопалый рак (*Pontastacus Leptodactylus*)

В статье представлены сведения о добыче хитина и хитозана из узкопалого рака (*Pontastacus Leptodactylus*), обитающего в реках, озерах и пресноводных водоемах Узбекистана, и его свойствах.

Существует значительный интерес к аквакультуре узкопалого рака, *Astacus leptodactylus*, что обусловлено высоким спросом и его высокой рыночной ценой. Живые *Astacus Leptodactylus* уже много лет импортируются из Турции. Коксал (1988) описывает его культуру в Турции, а Харлиоглу (2004) недавно прокомментировал его нынешнее состояние в Турции. Этот вид также культивируется во многих странах Восточной Европы и зарыблен во многих районах Бельгии, Швейцарии и Франции. *Astacus Leptodactylus* также культивируется на некоторых фермах в северной и центральной Италии. В Великобритании *Astacus Leptodactylus* были интродуцированы в основном для ресторанной торговли, но, насколько известно, не культивируются в какой-либо степени. Согласно Холдичу (2000), побег происходил в дикой природе, где существуют большие, пригодные для сбора популяции [7].

Astacus Leptodactylus обычно достигают общей длины 150 мм (и до 170 мм у самцов), но известны случаи до 300 мм. Известно, что они живут более 10 лет. У самок зрелость достигается в 3-5 лет и 75-83 мм. Размер яйца 2,2-3,3 мм. *Astacus Leptodactylus* можно узнать по длинным и узким когтям. Верхняя поверхность когтей шероховатая, а нижняя сторона того же цвета, что и тело. Хотя форма и цвет тела имеют тенденцию варьироваться, они, как правило, оливково-зеленые или желтоватые или коричневые с легким красным оттенком. Панцирь, когти и ходильные ноги могут быть пятнистыми. Брюшная сторона тела белая; Панцирь может быть широким или узким, бока которого покрыты колючками, число которых

варьируется. Панцирь имеет две пары заднеглазничных гребней позади глаз. Рострум длинный и заостренный, базальная часть которого имеет зубчатые края. Бока грудной клетки шероховатые. Челы самцов обычно длиннее, чем у самок, хотя у некоторых самцов наблюдались короткие челюсти [8].

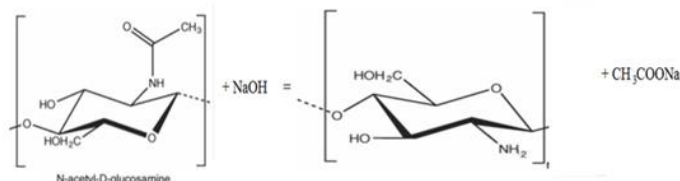
Astacus Leptodactylus имеет юго-восточное распространение и первоначально был распространен в ареале, соответствующем Турции, Украине, Туркмении и юго-западу России, а также в Иране, Казахстане, Грузии, Белоруссии, Словакии, Болгарии, Румынии и Венгрии. Первоначальный ареал распространения включал также Каспийское море, Черное море, нижний и средний Дунай, а также низовья рек Дон, Днестр, Волга и их притоков (Коксал, 1988; Holdich et al., 1999) [1].

В результате трансплантации и естественного распространения *Astacus Leptodactylus* распространился как в западном, так и в северном направлении и сегодня встречается в 29 странах, будучи интродуцированным в 14 из них. Он был завезен в Чехию, Польшу, Германию, Литву, Латвию и Финляндию, а также в Данию, Нидерланды и Англию. Запасы этого вида также присутствуют во Франции, Швейцарии, Австрии, Испании и Италии. За исключением Англии (Holdich et al., 1999), широкое распространение *Astacus Leptodactylus* в Европе не привело к ухудшению состояния окружающей среды [8].

Длиннопалый рак распространен значительно шире и встречается почти по всей территории России, в том числе и встречается в водоёмах Узбекистана. Этот вид раков не так привередлив к условиям окружающей среды, обитает как в пресной, так и в солоноватой воде. Длиннопалый рак более устойчив к заболеваниям, и хотя чума раков вызывает гибель практически всех зараженных ей популяций, возрождение раковых сообществ возможно в пораженных этим заболеванием водоемах через 5 - 7 лет [9].

Рачок гаммарус содержит до 6 % хитина, который выделяли путем последовательной обработки сырья 3 % раствором пероксида водорода, раствором хлороводородной кислоты 0,6 моль/л, раствором натрия гидроксида 0,175 моль/л. Каждую стадию сопровождали промыванием сырья до нейтральной реакции промывных вод ($\text{pH} = 7$). Выделенный хитин промывали этанолом и ацетоном под вакуумом до полного извлечения пигментов и высушивали. Затем проводили деацетиляцию хитина натрия гидроксида раствором 50 % при температуре 120–130 °C в течение одного часа в инертной среде. Для окончательной очистки хитозан промывали этанолом и ацетоном, высушивали на воздухе. Из 400 г исходного сырья (гаммарус) получили 25,13 г хитина, а после деацетилирования 15,9 г хитозана. Выход хитозана по хитину составил 79,8 % от теоретического [10].

Материалы и методы. Изложенным выше методом синтезировали хитозан из узкопалых крабов, пойманных в водоемах Бухарской области. В данном случае брали озерную узкопалых крабов среднего размера, очищали ее, удаляли верхнюю часть тела и клешни. После тщательной промывки проводили процесс депротеинизации при температуре 70-80°C в течение 1,5-2 часов в присутствии 0,5-1М натриевой щелочи. Затем проводили стадию деминерализации в 0,1 М HCl при комнатной температуре в течение 0,5 часа. Хитин был выделен с выходом 15%.



**Реакция деацетилирования – N ацетил D-глюкозамина щелочью
для получения хитозана**

Полученные пластинки хитозана наблюдали под Бинокулярный

микроскопом типа BioBlue BB 4260. Биноклярный сравнительный микроскоп – это узкоспециализированный вид микроскопа. Применяется в основном в криминалистике для сравнения образцов. Это сложно сконструированное оптическое устройство представляет собой два стереомикроскопа соединенных на одном штативе и имеющих один выход на бинокляр. В биноклярную насадку человек видит одинаковую картинку, как с правой, так и с левой стороны. Поле зрения такого микроскопа разделено на 2 участка. С правой стороны видно объект, размещенный под правый стереомикроскоп, а с левой стороны – левый объект.

Результаты и обсуждения. Образующийся хитин нерастворим в органических кислотах и воде. Светло-коричневые, в виде пластинок. Хитин деацетируется и образуется хитозан при взаимодействии полученного хитина с 50%-ным раствором натриевой щелочи при температуре 100-110⁰ С в течение 2 часов. Полученный хитозан светло-коричневого цвета, в виде пластинок, хорошо растворяется в 2%-ной уксусной и других неорганических, органических кислотах. Внешний вид полученного хитозана представлен на рисунке 2.

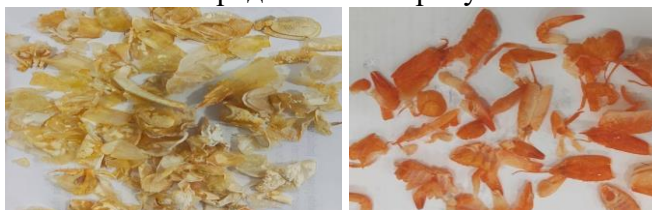
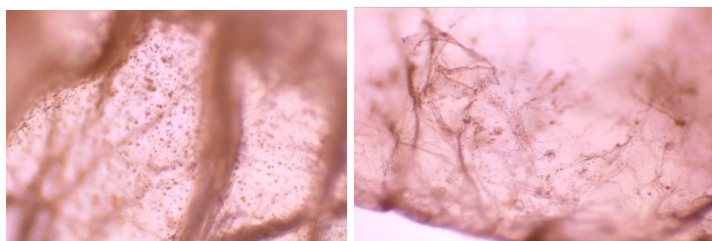
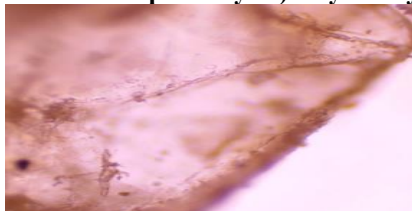


Рисунок-2. Внешний вид хитозана из узкопалых крабов

Он нужен для того чтобы увеличивать и изучать мелкие предметы, которые нельзя использовать невооруженным глазом. Биноклярный микроскоп состоит из двух отдельных оптических трубок, позволяющих наблюдать объект одновременно с верхнего глаза. Благодаря этому биноклярный микроскоп обеспечивает более комфортное и естественное наблюдение по сравнению с монокулярными микроскопами.



Узкопалый рак (*Pontastacus Leptodactylus*) Купол тутового шелкопряда



Подмор пчел (*Apis mellifera*)

Рисунок-2. Внешний вид под биомикроскопом хитозанов, полученных из различного сырья

Когда мы наблюдали под микроскопом структуру пластинчатого хитозана, синтезированного из озерного краба, и аморфное состояние хитозана куколки тутового шелкопряда и пчелиного подмора, мы убедились, что они имеют одинаковую структуру.

Список использованной литературы

1. Воробьева В.М., Турецкова В.Ф. Методологические основы разработки лекарственных препаратов на основе полимеров // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 2. – С. 45–46.
2. Дубинская А.М, Добротворский А.Е.. Применение хитина и его производных в фармации (обзор) // Хим.-фармац.журнал. – 1989. – Т. 23. – № 5. – С. 623–628.

3. Милушева Р.Ю., Рашидова С.Ш. //Хитин, хитозан Bombyx mori и наносистемы на их основе. - Ташкент: ФАН, 2016.
4. Курбонова Ф.Н., Севинчова Д.Н., Самандарова М.О. Морфологические и биохимические изменения в процессе заживления ожоговых ран мазями на основе карбоксиметилхитозана *Apis Mellifera* // QarDU xabarлари, №63. 2023 - Б. 48-52.
5. Abdullahi A, Amini-Nik S, Jeschke M. Animal models in burn research. Cellular and Molecular Life Sciences. 2014. 71(17):3241-3255. DOI: 10.1007/s00018-014-1612-5.
6. Курбонова Ф.Н., Севинчова Д.Н. Определение структуры карбоксиметилхитозана, полученного из хитозана пчелиного подмора *Apis mellifera*, путем компьютерного моделирования и результатов его ЯМР-спектроскопии // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2024. 6(120). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/17565ИЗ>
7. Гартман О.Р. Способ и термодинамика получения хитина и хитозана: дис. ... канд. хим. наук. – Барнаул: АГУ, 1998. – 115 с.
8. Гартман О.Р., Воробьева В.М. Технология и свойства хитозана из рачка гаммарус. FUNDAMENTAL RESEARCH №6, 2013. УДК 615.011.4:661.123:547.458:595.3
9. Усмонова Б., Шамсиев Н. А., Жалолов Э. Б., Амонов А. У. Морфометрические показатели длиннопалого рака (*Pontastacus Leptodactylus* (Eschscholtz, 1823)) Published by "CENTRAL ASIAN STUDIES" Volume: 02 Issue: 07 | Jan-Feb 2022 ISSN: 2660-4159 <http://www.centralasianstudies.org>
10. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение / под ред. К.Г. Скрябина, Г.А. Вихоревой, В.П. Варламова. – М.: Наука, 2002. – 368 с.

Stachybotrys chartarum ZAMBURUG‘LARINING IKKILAMCHI METABOLITLARI MIQDORINING OZUQA MUHITGA BOG‘LIQ O‘ZGARISHI

Tojiyeva S.N., Kamolov L.S.

Qarshi davlat universiteti

kamolov.lugmon@mail.ru

sevara.tojeyeva145@gmail.com

ORCID 0000-0001-7316-0425

UDK 547.945+547.913.7

Annotatsiya. *Stachybotrys chartarum* shtammini Mandels ozuqa muhitidan 10l hajmda olib, 20 kungacha kachalkada xona temperaturasida o‘stirildi. Ikkilamchi metabolitlar miqdoriy analiz qilinganda 14 kun davomida o‘stirilgan ikkilamchi metabolitlar miqdori ko‘p ekanligi aniqlandi. Ikkilamchi metabolitlarni ajratish maqsadida *Stachybotrys chartarum* shtammini biomassasi kultural suyuqlikdan filtrlash orqali ajratib olindi va kultural suyuqlik hamda biomassa tarkibi quyidagi usul yordamida o‘rganildi.

Stachybotrys chartarum zamburug‘idan ikkilamchi metabolitini ajratish, metabolitlarini ajratish, ekstraktsiya, organik sintez, IQ, ^1H , ^{13}C YaMR, 2M YaMR ^1H - ^1H korrelyatsion ROESY usullari, 2M YaMR ^1H - ^{13}C korrelyatsion HMQC, HMBC usullari, rentgen tuzilish tahlil usuli, mass-spektrometriya usullari hamda yuqori samarali yupqa qatlamli xromatografiya, yuqori samarali gaz – suyuqlik adsorbsion xromatografiya usullari qo‘llanilgan.

Kalit so‘zlar: *Stachybotrys chartarum*, ikkilamchi metabolitlar, maltoza, sellyuloza, saxaroza, glyukoza, laktoza, galaktoza, ramnoza, raffinoza, maltoza, fruktoza.

CHANGES IN THE AMOUNT OF SECONDARY METABOLITES OF THE FUNGUS *Stachybotrys chartarum* DEPENDING ON THE NUTRIENT ENVIRONMENT

Abstract. *Stachybotrys chartarum* strain was cultured in a 10L volume of Mandels medium at room temperature for 20 days. Quantitative analysis of secondary metabolites revealed that secondary metabolites were more abundant in the cultured strain grown for 14 days. In order to isolate secondary metabolites, the biomass of *Stachybotrys chartarum* strain was isolated from the culture liquid by filtration, and the composition of the culture liquid and biomass was studied using the following method.

Isolation of secondary metabolites from *Stachybotrys chartarum* fungus, isolation of metabolites, extraction, organic synthesis, IR, ^1H , ^{13}C NMR, 2M HMR ^1H - ^1H correlation ROESY methods, 2M NMR ^1H - ^{13}C correlation HMQC, HMBC methods, X-ray structural analysis method, mass spectrometry methods and high-performance thin-layer chromatography, high-performance gas-liquid adsorption chromatography methods were used.

Keywords: *Stachybotrys chartarum*, secondary metabolites, maltose, cellulose, sucrose, glucose, lactose, galactose, rhamnose, raffinose, maltose, fructose.

Kirish. Mikroorganizmlar o‘zlarining hayotiy faoliyati davrida ikkilamchi

metabolitlarning turli sinflariga taalluqli bo'lgan biofaol birikmalar, jumladan, alkaloidlar, antibiotiklar, vitaminlar va h.k.larni biosintez qilishi mumkin. [1; -p. 138-141.,2; -p. 7;10,123.,3; -p. 38-44]. Mikrozamburug'lar biotexnologiyalar va farmatsiya sanoatining keng qamrovli istiqbolga ega bo'lgan, amaliy jihatdan yuqori salohiyatli tizimlaridir [4; -p. 7943; 7; -p. 443., 9; -p. 529–542]. Zamburug'larni ikkilamchi metabolitlarning struktura-faollik munosabatlaridagi muayyan bir hosilani biosintez qilishga yo'naltirish imkoniyatlari ham yuqori bo'lib, ular biotexnologik manipulyatsiyalar uchun juda qulay vositalar hisoblanadi [19;-p.7546]. Hozirda zamburug'larning biologik turlari va ularning shtammlari xilmaxilligi, son jihatdan juda ko'pligiga qaramay, adabiyotlarda faqat kam sonli zamburug'lar biologik faol metabolitlarni ishlab chiqarish qobiliyatiga ega ekanligi ko'rish mumkin [23; -p. 1604].

S.chartarum zamburug'i gidrofil organizmlar bo'lib, ularning o'sishi va rivojlanishi uchun nam sharoit kerak bo'ladi. Ular gips, selluloza asosidagi qurilish plitkalari, shisha tolali qoplamalar, devor qog'ozi, tabiiy tolali gilamlar, izolyatsiyalangan quvurlar, yog'och va yog'och qipqlari asosidagi panellar, organik qoldiqlarda ham yashay oladi. Shuningdek, tuproq, o'simlik donlari va axlatda ham uchraydi [24; -p. 241-249., 25; -p. 144-172].

S.chartarum – eng keng tarqalgan, yopiq joylarda yaxshi rivojlanuvchi zamburug'lardan biri bo'lib, ular patogen mikotoksinlar ishlab chiqaradi. Ushbu zamburug' tarqalgan joylar inson hayoti uchun xavfli ta'sir ko'rsatadi [25; -p. 144-172]. Zamburug' yoki uning mikotoksinlari bilan ifloslangan xona havosi va yuzalar jiddiy patologik kasalliklarni keltirib chiqaradi va hatto odamlarning o'limiga olib keladi [24; -p. 241-249., 26; -p. 864-872]. Bunday kasallikning umumiy belgilari charchoq, ko'krak qafasining siqilishi, shilliq qavatning yallig'lanishi, bosh og'rishi va sh.k. [24; -p. 241-249]. Shuningdek, u yo'tal va hiqichoqdan tortib bronx va alveolalar zararlanishi yoki o'pka fibrozi kabi yanada xavfliroq tusdagi nafas yo'llari kasalliklarini ham keltirib chiqarishi mumkin [27; -p. 207-218]. Bundan-da xavfli tomoni, bu zamburug'ning ta'sir qilishi natijasida chaqaloqlarda o'pkadan qon ketishi bilan bog'liq holatlarning yuzaga kelish holatlari ham aniqlangan [28; -p. 627-637].

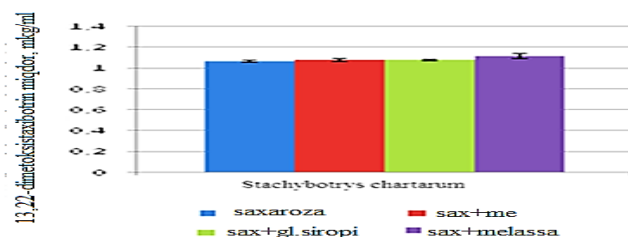
Tadqiqot metodologiyasi. *Stachybotrys chartarum* zamburug'ining seskviterpenoidlarini ajratish. O'zR FA Mikrobiologiya institutida o'simlik rezosferasidan ajratib tozalangan *Stachybotrys chartarum* shtammini Mandels ozuqa muhitidan 10l hajmda olib, 20 kungacha kachalkada xona temperaturasida o'stirildi.

Stachybotrys chartarum zamburug' ozuqa muhitida ekilib, 35–45°C haroratda 14 kun mobaynida o'stirildi. O'stirilgan zamburug'lar filtrlandi va namunalardan 2 ml dan supernatant olinib 8 ml Salkovski reagenti (50 ml 35% li HClO₄ va 1 ml FeCl₃ ning 0,5 M li eritmalari aralashmasi) bilan aralashtirilib, 20–30 daqiqaga qoldirildi. Alkaloidlarning namunalari qizil-pushti rang hosil qildi. So'ngra FEK – KFK–2 (Rossiya) fotokolorimetrida 530 nm to'lqin uzunligida yashil yorug'lik filtri orqali supernatantlarning optik zichligi tekshirildi.

Kultura suyuqliklaridagi terpenoidlarning miqdori ularning fosfor-molibden volfromat kompleksi bilan hosil qilgan mahsulotlarning fotokolorimetrik tahlili orqali aniqlandi.

Natijalar va muhokama. *Stachybotrys chartarum* zamburug'ida uglerod manbasi sifatida saxaroza va saxaroza+melassadan foydalanilgan variantda o'stirishning 7-sutkasida maksimal darajada (146 mkg/ml) 3O-atsetatstaxibotridial sintezlangani ma'lum bo'ldi. Odatda tadqiqot qilinayotgan bu shtammlarda 3O-atsetatstaxibotridial o'stirishning 5–7- sutkalarida deyarli sintezlanib bo'ladi. *Stachybotrys alternans* zamburug'ida esa 3O-atsetatstaxibotridial sintezi uglerod manbasi saxaroza va saxaroza+glyukoza siropi qo'llanilgan variantda o'stirishning 7-sutkasida maksimal darajada (108 mkg/ml, 129.5 mkg/ml) sintezlandi.

Past molekulyar og'irlikdagi metabolitlarni olish uchun tanlangan shtammni yetishtirishning optimal vaqti, shuningdek, kultura suyuqligida hosil bo'lgan 13,22-dimetoksistaxibotrinning maksimal miqdori aniqlandi. Tadqiqot o'sish dinamikasida 10 kun davomida bug'doy kepagi qo'shilishi bilan suyuq va qattiq ozuqa muhitida o'tkazildi. *Stachybotrys chartarum* o'sayotganda aniqlandi, muhitning pH darajasi ishqoriy tomonga oshadi, fermentlarning eng katta faolligi, asosan chuqur kultivatsiyada 3-kunda va qattiq fazali kultivatsiyada 2-kunda sodir bo'ladi. 13,22-Dimetoksistaxibotrinning eng katta miqdori 4-kunda chuqur va 2-kunda qattiq fazali yetishtirishda hosil bo'ladi. Tajribalarda azot manbalari orasida $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ qo'llanilganda *Stachybotrys chartarum* shtammida 3O-atsetatstaxibotrodial sintezi maksimal darajada amalga oshishi kuzatildi (2.1-rasm). Xususan, o'stirishning 8-kunida 168 mkg/ml 13,22-dimetoksistaxibotrin hosil bo'lgan bo'lsa, NH_4NO_3 va $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ (nazorat) qo'llanilgan variantlarda esa nisbatan kam (138 mkg/ml) 13,22-dimetoksistaxibotrin sintez bo'lishi aniqlandi. Ta'kidlash o'rinliki, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ qo'llanilgan sharoitlarda *Stachybotrys chartarum* shtammi boshqa azot manbalariga qaraganda ko'p biomassa hosil qilishi bilan ajralib turdi. Bundan shuni xulosa qilish mumkinki, qo'llanilayotgan azot manbasi avvalo hujayralar sonining ortishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. O'z-o'zidan ravshanki, biomassa ortishi bilan 13,22-dimetoksistaxibotrinning miqdori ham ortadi. Ayrim tadqiqotlarda ikkilamchi metabolitlar, jumladan, seskveterpenoid birikmalari sintezi ortishi hujayra titri yoki biomassa ortishi bilan izohlanadi.

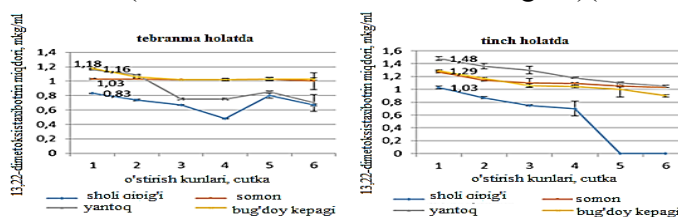


1-rasm. *Stachybotrys chartarum* shtammida 13,22-dimetoksistaxibotrin va 3O-asetatstaxibotrodial sintezlanishiga turli azot manbalarining ta'siri

3O-Asetatstaxibotrodial miqdori ham o'stirishning o'ninchi kunida azot manbasi sifatida $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ qo'llanilgan variantda eng yuqori darajada – 125 mkg/ml sintezlangan bo'lsa, eng kam miqdordagi sintez NH_4NO_3 – 69 mkg/ml variantida kuzatildi (2.1-rasm). Lekin ushbu variantda 3O-atsetatstaxibotrodial sintez qilishi o'stirishning uchinchi sutkasidan boshlab amalga oshdi, boshqa variantlarda esa 3O-atsetatstaxibotrodial sintezi o'stirishning beshinchi sutkasidan boshlanganligi aniqlandi.

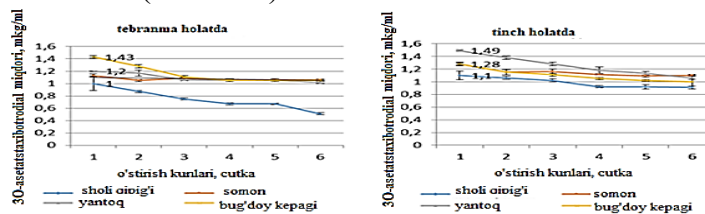
Keyingi tadqiqotlarda uglerod manbalarining 13,22-dimetoksistaxibotrin va 3O-atsetatstaxibotrodial sinteziga ta'siri o'rganildi. Uglerod manbasi sifatida sellyuloza, saxaroza (nazorat), glyukoza, laktoza, galaktoza, ramnoza, raffinoza, maltoza, fruktoza va mannitdan foydalanildi. Tajribalar davomida uglerod manbalarining ikkilamchi metabolitlar sinteziga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatishi kuzatildi. Tajribalarda o'stirishning birinchi haftasida 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezi faol bo'lgan bo'lsa, ikkinchi haftasida asosan 3O-atsetatstaxibotrodial sintezlanishi aniqlandi.

Stachybotrys chartarum shtammida yuqori darajadagi 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezi o'stirishning to'rtinchi sutkasida saxaroza qo'llanilgan variantda (1,905 mkg/ml) kuzatildi, eng kam miqdorda esa mannit qo'llanilgan (0,0137 mkg/ml) variantda aniqlandi. Uglerod manbasi sifatida laktoza va galaktoza qo'llanilgan variantlarda ham maksimal darajada 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezlandi (mos ravishda 1.43 va 1.426 mkg/ml)(2-rasm).



2-rasm. Turli uglerod manbalarining 13,22-dimetoksistaxibotrin sinteziga ta'siri

3O-Atsetatstaxibotrodial sintezida esa uglerod manbalarining ta'siri sezilarli ta'sir ko'rsatdi. *Stachybotrys chartarum* shtammida uglerod manbasi sifatida maltoza ishlatilgan variantda maksimal darajadagi (1,26 mkg/ml) 3O-asetatstaxibotrodial sintezi aniqlandi. Shuningdek, saxaroza (1,22 mkg/ml), glyukoza (0,92 mkg/ml) va mannit (0,93 mkg/ml) qo'llanilgan variantlarda ham yuqori darajalarda 3O-atsetatstaxibotrodial hosil bo'lgani aniqlandi. Eng kam miqdordagi 3O-atsetatstaxibotrodial sintezi esa uglerod manbasi fruktoza bo'lgan variantda (0,1 mkg/ml) kuzatildi. Laktoza va ramnoza qo'llanilgan variantlarda sintez kuzatilmadi (2.3–rasm).

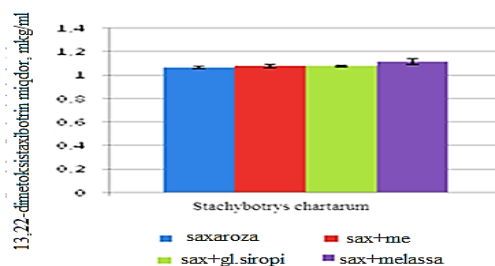


3-rasm. Turli uglerod manbalarining 3O-atsetatstaxibotrodial sinteziga ta'siri

Shunday qilib, tanlab olingan shtamlarning potensial miqdorda 13,22-dimetoksistaxibotrin sintez qilishi uchun uglerod manbasi sifatida saxarozadan, 3O-atsetatstaxibotrodial sintezida esa uglerod manbasi sifatida maltoza yoki saxarozadan foydalanish maqsadga muvofiqligi aniqlandi.

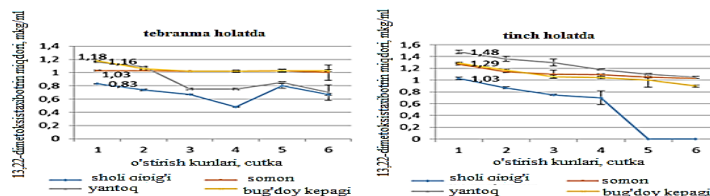
Kuzatishlar davomida faol shtamlarning ikkilamchi metabolitlar sintezlashi uchun arzon ozuqa muhitini tanlash maqsadida uglerod manbasi sifatida sanoat chiqindilarining ham 13,22-dimetoksistaxibotrin hamda 3O-atsetatstaxibotrodial hosil bo'lishiga ta'siri o'rganildi. Uglerod manbasi sifatida saxaroza bilan birga makkajo'xori ekstrakti, glyukoza siropi va melassadan 1:1 nisbatda foydalanildi. Zamburug' shtamlari muvofiq haroratlarda 14 sutka davomida o'stirildi.

Saxaroza+makkajo'xori ekstrakti qo'llanilganda *Stachybotrys chartarum* shtammi 1,02 mkg/ml, saxaroza+melassa qo'llanilganda esa 1,19 mkg/ml miqdorda 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezlandi. *Stachybotrys chartarum* shtammida esa saxaroza+melassali variantda 1,12 mkg/ml 13,22-dimetoksistaxibotrin hosil bo'lgani aniqlandi. Saxaroza+makkajo'xori ekstrakti qo'llanilganda o'stirishning ikkinchi haftasida 1,08 mkg/ml 13,22-dimetoksistaxibotrin hosil bo'lgan bo'lsa, saxaroza+glyukoza siropi qo'llanilgan variantda 1,12 mkg/ml miqdorda 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezlangani ma'lum bo'ldi (5–rasm).



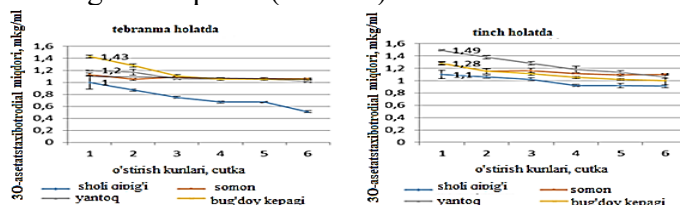
5-rasm. Har xil uglerod manbalarining 13,22-dimetoksistaxibotrinlar sinteziga ta'siri

Keyingi tajribalarda ozuqa manbasini yana arzonlashtirish maqsadida turli tabiiy substratlarni 13,22-dimetoksistaxibotrin va 3O-asetatstaxibotrodial hosil qilishiga ta'siri o'rganildi. Uglerod manbasi sifatida o'simlik qoldiqlaridan sholi qipig'i, bug'doy kepagi, yantoq va bug'doy somonidan foydalanildi. Tajribalar 35°C va 45°C haroratda tinch va tebranma usulda o'n sutka davomida olib borildi. Tajriba natijalari quyidagicha bo'ldi: *Stachybotrys chartarum* shtammida 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezi tebranma usulda o'stirishning 3 sutkasida maksimal darajada (1,18 mkg/ml) uglerod manbasi sifatida bug'doy kepagi qo'llanilgan variantda kuzatilgan bo'lsa, tinch holatda esa o'stirishning shu sutkasida uglerod manbasi sifatida yantoq qo'llanilgan variantda (1,48 mkg/ml) yuqori darajada 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezlangani aniqlandi (6–rasm).



6–rasm. *Stachybotrys chartarum* zamburug'ining har xil substratlarda hosil qilgan 13,22-dimetoksistaxibotrin miqdori

Stachybotrys chartarum shtammida ham yuqoridagi holat kuzatildi. 3O-asetatstaxibotrodial sintezi tebranma usulda uglerod manbasi sifatida bug'doy kepagi qo'llanilgan variantda boshqa variantlarga nisbatan o'stirishning 3 sutkasida eng ko'p miqdorda (1,43 mkg/ml) sintezlangan bo'lsa, tinch holatda uglerod manbasi sifatida yantoq qo'llanilgan variantda o'stirishning shu sutkasida 1,49 mkg/ml miqdorida 3O-asetatstaxibotrodial sintezlangani aniqlandi (7–rasm).



7–rasm. *Stachybotrys chartarum* shtammining har xil substratlarda hosil qilgan 3O-asetatstaxibotrodial miqdori

Olib borilgan tajribalardan ma'lum bo'ldiki, 13,22-dimetoksistaxibotrin sinteziga uglerod manbasi sifatida saxaroza o'rniga turli substratlar qo'llanilganda yuqori darajada 13,22-dimetoksistaxibotrin sintezlanishi aniqlandi.

Ta'kidlab aytish kerakki, odatda 13,22-dimetoksistaxibotrin o'stirishning ikkinchi haftasida sintezlanadi, substratlar ishtirokida olib borilgan tajribalarda esa 13,22-dimetoksistaxibotrin o'stirishning uchinchi sutkasidan boshlab hosil bo'lganini (1,28–1,38 mkg/ml) kuzatish mumkin. Yana bir e'tiborli tomoni shundaki, tadqiqotlarda turli substratlar qo'llanilganda 3O-asetatstaxibotrodial hosil bo'lishi kuzatilmadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ларикина Ю.Л., Маликова Н.А. Вторичные метаболиты лекарственных растений // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2022. №6. - С.138-141
2. Fouillaud M, Dufossé L. Microbial Secondary Metabolism and Biotechnology. Microorganisms. 2022 Jan 7;10(1):123
3. Орлова Т.И., Булгакова В.Г., Полин А.Н. Вторичные метаболиты микроорганизмов – потенциальный резерв фармацевтических препаратов // Журнал «Антибиотики и химиотерапия», 2014, 59; №3-4. - С.38-44
4. Ibrahim, S.R.M.; Sirwi, A.; Eid, B.G.; Mohamed, S.G.A.; Mohamed, G.A. Bright side of *Fusarium oxysporum*: Secondary metabolites bioactivities and industrial relevance in biotechnology and nanotechnology. *J. Fungi* 2021, 7, 7943.
5. Ibrahim, S.R.M.; Altyar, A.E.; Mohamed, S.G.A.; Mohamed, G.A. Genus *Thielavia*: Phytochemicals, industrial importance and biological relevance. *Nat.Prod.Res.* 2021, 1–16.
6. Ibrahim, S.R.M.; Mohamed, S.G.A.; Altyar, A.E.; Mohamed, G.A. Natural products of the fungal genus *Humicola*: Diversity, biological activity, and industrial importance. *Curr. Microbiol.* 2021, 78, 2488–2509.
7. Ibrahim, S.R.M.; Bagalagel, A.A.; Diri, R.M.; Noor, A.O.; Bakhsh, H.T.; Muhammad, Y.A.; Mohamed, G.A.; Omar, A.M. Exploring the activity of fungal phenalenone derivatives as potential CK2 inhibitors using computational methods. *J. Fungi* 2022, 8, 443.
8. Mohamed, G.A.; Ibrahim, S.R.M. Untapped potential of marine-associated *Cladosporium* species: An overview on secondary metabolites, biotechnological relevance, and biological activities. *Mar. Drugs*, 2021, 19, 645.
9. Zheng, Y.K.; Qiao, X.G.; Miao, C.P.; Liu, K.; Chen, Y.W.; Xu, L.H.; Zhao, L.X. Diversity, distribution and biotechnological potential of endophytic fungi. *Ann. Microbiol.* 2016, 66, 529–542.
10. Ibrahim, S.R.M.; Abdallah, H.M.; Elkhayat, E.S.; Al Musayeib, N.M.; Asfour, H.Z.; Zayed, M.F.; Mohamed, G.A. Fusaripeptide A: New antifungal and anti malarial cyclodepsipeptide from the endophytic fungus *Fusarium sp.* *J. Asian. Nat. Prod. Res.* 2018, 20, 75–85.
11. Ibrahim, S.R.M.; Sirwi, A.; Eid, B.G.; Mohamed, S.G.A.; Mohamed, G.A. Fungal depsides—naturally inspiring molecules: Biosynthesis, structural characterization, and biological activities. *Metabolites* 2021, 11, 683.
12. Ibrahim, S.R.M.; Fadil, S.A.; Fadil, H.A.; Eshmawi, B.A.; Mohamed, S.G.A.; Mohamed, G.A. Fungal naphthalenones; promising metabolites for drug discovery: Structures, biosynthesis, sources, and pharmacological

potential. *Toxins* 2022, 14, 154.

13. Noor, A.O.; Almasri, D.M.; Bagalagel, A.A.; Abdallah, H.M.; Mohamed, S.G.A.; Mohamed, G.A.; Ibrahim, S.R.M. Naturally occurring isocoumarins derivatives from endophytic fungi: Sources, isolation, structural characterization, biosynthesis, and biological activities. *Molecules* 2020, 25, 395.

14. Omar, A.M.; Mohamed, G.A.; Ibrahim, S.R.M. Chaetomugilins and chaetoviridins—promising natural metabolites: Structures, separation, characterization, biosynthesis, bioactivities, molecular docking, and molecular dynamics. *J. Fungi* 2022, 8, 127.

15. Ibrahim, S.R.M.; Mohamed, G.A.; Al Haidari, R.A.; El-Kholy, A.A.; Zayed, M.F.; Khayat, M.T. Biologically active fungal depsidones: Chemistry, biosynthesis, structural characterization, and bioactivities. *Fitoterapia* 2018, 129, 317–365.

16. Ancheeva, E.; Daletos, G.; Proksch, P. Bioactive secondary metabolites from endophytic Fungi. *Curr. Med. Chem.* 2020, 27, 1836–1854.

17. Beekman, A.M.; Barrow, R.A. Fungal metabolites as pharmaceuticals. *Aust. J. Chem.* 2014, 67, 827–843.

18. Aly, A.H.; Debbab, A.; Proksch, P. Fifty years of drug discovery from fungi. *Fungal Divers.* 2011, 50, 3–19.

19. Hoeksma, J.; Misset, T.; Wever, C.; Kemmink, J.; Kruijtz, J.; Versluis, K.; Liskamp, R.M.J.; Boons, G.J.; Heck, A.J.R.; Boekhout, T.; et al. A New perspective on fungal metabolites: Identification of bioactive compounds from fungi using Zebrafish Embryogenesis as read-out. *Sci. Rep.* 2019, 9, 7546.

20. Aslam, B.; Wang, W.; Arshad, M.I.; Khurshid, M.; Muzammil, S.; Rasool, M.H.; Nisar, M.A.; Alvi, R.F.; Aslam, M.A.; Qamar, M.U.; et al. Antibiotic resistance: A Rundown of a global crisis. *Infect. Drug Resist.* 2018, 11, 1645–1658.

21. Ibrahim, S.R.M.; Mohamed, G.A.; Al Haidari, R.A.; El-Kholy, A.A.; Zayed, M.F. Potential anti-malarial agents from endophytic fungi: A Review. *Mini Rev. Med. Chem.* 2018, 18, 1110–1132.

22. Ibrahim, S.R.M.; Mohamed, G.A.; Al Haidari, R.A.; Zayed, M.F.; El-Kholy, A.A.; Elkhayat, E.S.; Ross, S.A. Fusarothioamide B, a new benzamide derivative from the endophytic fungus *Fusarium Chlamydosporium* with potent cytotoxic and antimicrobial activities. *Bioorg. Med. Chem.* 2018, 26, 786–790.

23. R. Conrado, T.C. Gomes, G.S. Roque, A.O. De Souza. Overview of Bioactive Fungal Secondary Metabolites: Cytotoxic and Antimicrobial Compounds // *Antibiotics* (Basel). 2022 Nov 11; 11(11):1604.

24. Hodgson, M.J.; Morey, P.; Leung, W.Y.; Morrow, L.; Miller, D.; Jarvis, B.B.; Robbins, H.; Halsey, J.F.; Storey, E. Building-associated pulmonary disease from exposure to *Stachybotrys chartarum* and *Aspergillus versicolor*. *J. Occup. Environ. Med.* 1998, 40, 241–249.

25. Kuhn, D.M.; Ghannoum, M.A. Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: Infectious disease perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 2003, 16, 144–172.

26. Castlebury, L.A.; Rossman, A.Y.; Sung, G.; Hyten, A.S.; Spatafora, J.W. Multigene phylogeny reveals new lineage for *Stachybotrys chartarum*, the indoor air fungus. *Mycol. Res.* 2004, 108, 864–872.

27. Johanning, E.; Biagini, R.; Hull, D.; Morey, P.; Jarvis, B.; Landsbergis, P. Health and immunology study following exposure to toxigenic fungi (*Stachybotrys chartarum*) in a water-damaged office environment. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1996, 68, 207–218.

28. Dearborn, D.G.; Smith, P.G.; Dahms, B.B.; Allan, T.M.; Sorenson, W.G.; Montana, E.; Etzel, R.A. Clinical profile of 30 infants with acute pulmonary hemorrhage in Cleveland. *Pediatrics* 2002, 110, 627–637.

29. Tojiyeva S.N., Kamolov L.S., Naxatov I. Low molecular metabolites of fungi. 13,22-dimethoxystachibotrin from *Stachybotrys chartarum*. Proceeding X International Conference “Industrial Technologies and Engineering” ICITE-2023, Shymkent, Kazakhstan, Volume I, -p.46–55.

OBTAINING EPOXY PAINTS AND VARNISHES IN A HARDENING ENVIRONMENT

Usmonova Yulduz Isroil Qizi

Doctoral student of the Tashkent Institute of Chemical Technology

yulduzisroilovna1998@gmail.com

ORCID 0009-0002-6650-8272

UDK 678(07) BBK 35.71.я7

Abstract. The development of aqueous dispersion technologies for polycondensation resins marks a significant advancement in the varnish industry. This study investigates the synthesis, characterization, and application of polycondensation resins derived from locally available raw materials. The focus is on using environmentally friendly and economically viable resources to produce water-based varnishes with reduced volatile organic compound (VOC) emissions. The research incorporates a detailed examination of resin synthesis processes, the role of local raw materials, and performance evaluation in industrial applications. Findings indicate that polycondensation resins made from regional raw materials offer competitive mechanical, chemical, and aesthetic properties while reducing the ecological footprint. This article provides a comprehensive foundation for implementing aqueous dispersion technologies in sustainable varnish production.

Keywords: Aqueous dispersion, polycondensation resins, local raw materials, sustainable varnishes,

epoxide, eco-friendly coatings.

ПРОИЗВОДСТВО ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВОДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Аннотация. Разработка технологий водных дисперсий для поликонденсационных смол представляет собой значительный прогресс в лакокрасочной промышленности. В данном исследовании рассматриваются синтез, характеристика и применение поликонденсатных смол, полученных из местного сырья. Основное внимание уделяется использованию экологически чистых и экономически выгодных ресурсов, производству устойчивой лакокрасочной продукции с низким содержанием летучих органических соединений и воды. Исследование включает в себя подробное изучение процессов синтеза смол, роли местного сырья и работу по промышленному применению. Результаты показывают, что поликонденсатные смолы, изготовленные из местного сырья, демонстрируют конкурентоспособные механические, химические и эстетические свойства, одновременно снижая загрязнение окружающей среды. В статье изложены комплексные основы внедрения водно-дисперсионных технологий в производство экологически чистых лакокрасочных материалов.

Ключевые слова: водная дисперсия, поликонденсационные смолы, местное сырье, устойчивые лаки, эпоксидная смола, экологически чистые покрытия.

Introduction. The production of paints and varnishes based on aqueous emulsions of epoxide resins is a growing trend in the coatings industry due to the increasing demand for environmentally friendly, low VOC (volatile organic compounds) products. An epoxy emulsion is a dispersion of epoxy resin in water, usually stabilized with surfactants or emulsifiers. An additional factor in sustainable production is the use of local raw materials. By leveraging resources that are regionally abundant, manufacturers can reduce transportation costs, lower carbon emissions, and support local economies. This study focuses on synthesizing and evaluating polycondensation resins using such materials, with the goal of creating high-performance, eco-friendly varnishes suitable for various industrial and decorative applications.

Research object and methods. The research was conducted at "Original Colormix LLC", Shifobaksh Suvlar Street, Zangiota District, Tashkent Region. Epoxy and a hardener medium were used to obtain epoxy enamel.

Results and discussion. The results confirm that epoxide-based aqueous coatings, when properly formulated with emulsifiers and curing agents like RICH, can deliver high-performance, environmentally friendly alternatives to solvent-based epoxy systems. The balance of mechanical strength, adhesion, and chemical resistance highlights the potential of such systems in industrial and architectural applications. According to the data obtained, the results of the epoxy enamel preparation in the epoxy environment were lower than those in the hardener environment. We first prepare the epoxy emulsion, the quantities are given in Table 1 below. Then the main work is to prepare the white epoxy enamel. The process is carried out in a mixer. We also use the hardener as another main product. Known fillers are added to the epoxy and the process begins in the mixer in a Bisser environment. The quantities are given in Table 2 below. The process is carried out for about 1 hour and the perethir index is obtained. The perethir index is between 25-30 and the work is continued. The mass is put in the mixer, the epoxy emulsion is added, mixed well, and finally the hardener is added. When the finished mass is applied to the plate, the setting process took 10-12 hours. According to the results obtained, the enamel obtained was shiny, clear and stable. In our research, we also tested the resistance of the white enamel obtained on the basis of epoxy to the effects of alkali. In this case, the alkali We used caustic soda solution as the medium. The amount is given in Table 3 below.

Table 1

Component	Formulation #1(%)	Formulation #2(%)
Epoxy resin (ER)	50.0	68.5
Butyl Glycol (BG)	20.0	12.6
Distilled water	30.0	18.9
Total	100.0	100.0

Procedure:

1. In a clean dissolver equipped with a disc-toothed milling blade, the epoxy resin was loaded at room temperature.
2. With the blade rotating at 500–600 rpm, butyl glycol was gradually added. The system was mixed until the resin completely dissolved (assessed visually).
3. Distilled water was then introduced slowly to initiate emulsification. The mixture was stirred continuously for 30–60 minutes until a homogeneous emulsion formed, free of lumps or impurities.

A portion of the emulsions was stored for stability testing over time.

Both formulations produced stable emulsions with uniform consistency. The visual assessment indicated that Formulation #2, with a higher epoxy resin content, formed slightly more viscous emulsions compared to Formulation #1.

Stability: Emulsions remained homogeneous without phase separation during storage for up to three months.

Then the main work is to prepare the white epoxy enamel. The process is carried out in a mixer. We also use the hardener as another main product. Known fillers are added to the epoxy and the process begins in the mixer in a Bissier environment. The quantities are given in Table 2 below.

Table 2. The amount of raw materials required to produce white enamel based on epoxy resin

№	Component	Formulation
1	Epoxy resin	30
2	Butyl glycol	10
3	Dispersant 108	0.4
4	Titanium dioxide	13
5	Chalk	21
6	Bentogel BG-4	0.4
7	Emulsion	12
8	Hardener	13
TOTAL		100.0

The process is carried out for about 1 hour and the perethir index is obtained. The perethir index is between 25-30 and the work is continued. The mass is put in the mixer, the epoxy emulsion is added, mixed well, and finally the hardener is added. When the finished mass is applied to the plate, the setting process took 10-12 hours. According to the results obtained, the enamel obtained was shiny, clear and stable. In our research, we also rub out tested the resistance of the white enamel obtained on the basis of epoxy to the effects of alkali. In this case, the alkali We used caustic soda solution as the medium. The amount is given in Table 3 below. The rub out test is one of the important test methods used to evaluate the quality of paints and coatings.[1] This test helps to determine the uniform distribution of pigments on the surface of the paint or coating, flocculation (aggregation of pigments) or separation.[2] This test is widely used to assess paint quality.[3]

Table3. Amount of alkaline solution to assess the condition of the enamel

№	Component	Formulation
1	Caustic soda	20
2	Distilled water	80
Total		100.0

Conclusion. This study demonstrates the viability of aqueous dispersion technology for the production of polycondensation resins using locally sourced raw materials.

Practical recommendations for industrial application:

1. Use of local raw materials: For cost-effective and sustainable production, manufacturers are encouraged to utilize regionally available epoxy resins and fillers such as chalk and titanium dioxide. This reduces dependence on imports and lowers production costs.
2. Formulation optimization: The ratio of epoxy resin, emulsifiers, and hardeners should be carefully balanced to ensure proper dispersion stability and curing performance.

Emulsification should be carried out gradually to avoid phase separation. 3. Mixing process control: To achieve consistent quality, the mixing process must be controlled with appropriate shear force (e.g., 500–600 rpm) and duration (at least 60 minutes) to ensure homogeneity. 4. Curing conditions: The final enamel requires a curing time of 10–12 hours at room temperature for optimal film formation. Accelerated curing can be tested for efficiency improvements in industrial settings. 5. Resistance testing: It is recommended to conduct solvent resistance (rub-out) and alkali resistance tests to validate durability. For example, 50–100 rubs with MEK can assess crosslinking efficiency, and testing against caustic soda helps determine chemical stability. 6. Storage and stability: The prepared emulsions remained stable for up to three months, but for industrial use, batch testing for long-term storage stability is advised. 7. Environmental benefit: Water-based formulations significantly reduce VOC emissions. Implementing such systems aligns with international environmental standards and may qualify for green certifications.

By adopting the above recommendations, manufacturers can produce high-quality, eco-friendly epoxy enamels suitable for industrial, architectural, and decorative use.

References

1. Smith, J., & Brown, L. (2021). "Advances in Polycondensation Resin Technology." *Journal of Coatings Science*, 34(4), 567-590.
2. Green, A., & Patel, R. (2020). "Sustainable Raw Materials for Polymer Synthesis." *Polymer Reviews*, 60(3), 123-145. <https://doi.org/10.1080/15583724.2020.1748775>
3. Johnson, K. (2019). "Environmental Impacts of Solvent-Based Varnishes." *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 211-223.
4. Williams, T., & Zhao, Y. (2018). "Water-Based Varnishes: A Comprehensive Review." *Coatings Technology Review*, 15(1), 45-67.
5. Lee, C., & Kim, S. (2017). "Nanotechnology in Resin Production." *Journal of Nanomaterials*, 10(2), 98-115.
6. Galgoci E. Urethane-acrylic hybrid polymers: performance as IK coatings / Galgoci E., Hegedus C., Snyder J., Lawson D., Lindenmuth D. // Air Products and Chemicals, Inc. - 2001.
7. Thomas, A. Polyurethane dispersions and polyurethane/acrylic hybrid dispersions for coating and printing applications / Thomas, A. // Surface Coatings Australia. - 2008. - №9. - P. 16-24.
8. Чижова, Т. М. Алкидные, акриловые и алкидно-акриловые связующие в воднодисперсионных лакокрасочных материалах / Т. М. Чижова, Г. М. Цейтлин, А. В. Евланов // Лакокрасочные материалы и их применение. - 2010. - №4. - С. 30 - 32.
9. Kukanja, D. The structure and properties of acrylic-polyurethane hybrid emulsions and comparison with physical blends / Kukanja D., Golob, J. // J. of Applied Polymer Science. - 2000. - № 78. - P. 67- 80. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20001003\)78:1%3C67::AID-APP100%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20001003)78:1%3C67::AID-APP100%3E3.0.CO;2-4)
10. Jaap Akkerman, Dirk Mestach Waterborne polyurethane coatings can combine highperformance with low VOC content / ECJ. - 2008. - №10. P. 26 32.

**ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ТОВАРНОГО
АФРИКАНСКОГО СОМА, ВЫРАЩЕННОГО В БАССЕЙНАХ С ПОДАЧЕЙ
ТЕРМАЛЬНОЙ ВОДЫ**

Урунова Гулрух

Самаркандский государственный университет, докторант

Утемуратова Феруза

Ташкентский государственный аграрный университет, ассистент

feruza6167@gmail.com

Муйдинов Камолиддин

Ферганский государственный университет, докторант

Камилов Бахтияр

Филиал Астраханского государственного Технического Университета в

Ташкентской области, профессор

ORCID 0000-0002-9274-8635

УДК 639.3: 636.084.52

Аннотация. Африканский сом (*Clarias gariepinus*) - тропическая рыба с высокой скоростью роста и широким спектром питания, представляющая собой важный объект глобальной аквакультуры. В Узбекистане его культивирование осуществляется либо в течение одного вегетационного сезона, либо в установках с замкнутым водоснабжением. Отдельным направлением является выращивание африканского сома в проточных бассейнах с подачей тёплой воды из термальных скважин. В данной работе определены линейные и массовые технологические показатели качества сеголетков товарного африканского сома, выращенных в проточных бассейнах с термальной водой в условиях Ферганской долины. В качестве корма использовались субпродукты переработки цыплят-бройлеров. В январе сеголетки достигали общей длины 42,0–62,0 см, стандартной длины тела — 38,5–57,5 см, массы тела — 526,8–1619,5 г. Приведены индексы линейных пропорций тела, массы головы, тушки и внутренних органов (в % от общей массы тела), а также дана органолептическая оценка выращенной рыбы.

Ключевые слова: Африканский сом, *Clarias gariepinus*, аквакультура, товарное качество рыбы, Узбекистан

Annotatsiya. Aftika laqqasi (*Clarias gariepinus*) oziqlanish spektri keng, yuqori darajadagi o'sish tezligiga ega bo'lgan tropik baliq bo'lib jahon akvakulturasining muhim obyekti hisoblanadi. O'zbekistonda uni yoki bir vegetatsiya mavsumida yoki yopiq suv ta'minoti qurilmasida yetishtirish mumkin. Yerosti iliq suvlari bilan to'yinadigan oqar suv basseynlarida Afrika laqqasini yetishtirish mustaqil yo'nalish hisoblanadi. Farg'ona vodiysida yerosti iliq suvi bilan to'yinadigan oqar suv basseynlarida yetishtirilayotgan tovar Aftika laqqa baliqlarining bir yozlik davridagi o'lcham va og'irlik ko'rsatkichlarining sifat darajasi aniqlandi. Baliqlar broiler jo'jalar qayta ishlash qoldiq mahsulotlari bilan oziqlantirildi. Bir yozlik chavoqlarning umumiy tana uzunligi yanvar oyida – 42,0 - 62,0 sm, tanasining standart uzunligi – 38,5 - 57,5 sm, tanasining umumiy og'irligi – 526,8 - 1619,5 g ni tashkil etdi. O'lcham ko'rsatkichlarining tanasi va boshi, gavdasi va boshqa a'zolarining baliqlar tanasi umumiy og'irligiga nisbat ko'rsatkichlari %% shuningdek, organoleptik baholash natijalari keltirilgan.

Kaslit so'zlar: Afrika laqqasi, *Clarias gariepinus*, akvakultura, baliqlarning tovar sifati, O'zbekiston.

Введение. Африканский сом, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), - высокопластичный вид, обитающий в экстремальных условиях высыхающих в определенные сезоны водоемов, обладает высокой скоростью роста, высокой плодовитостью, широким спектром питания, вследствие чего стал важным объектом глобальной аквакультуры [10]. Однако, это типичная тропическая рыба, которая не может выжить в зимний период в условиях Узбекистана, расположенного в умеренном климате [3]. Тем не менее, рыбоводство Узбекистана нашло выход для организации массового выращивания этого объекта, при котором воспроизводство и выращивание посадочного материала проводят в закрытых условиях с регулируемой температурой воды и выращивают до товарной рыбы в первый же год [4]. У такого подхода осеннее понижение температуры сказывается на замедлении роста с октября и необходимость реализации товарной рыбы. Особый интерес представляют первые поисковые исследования по выращиванию африканского сома в проточных бассейнах с использованием самотечной подачи тёплой воды из термальных скважин, которые

обеспечивают оптимальные условия для культивирования данной рыбы.

Известно, что товарное качество рыбы как продукта питания – важнейший показатель, который зависит от вида, размера, возраста рыб, местных условий. Для характеристики используют в том числе органолептические, линейные и массовые размерные показатели [1];[6]. Определение товарных технологических качеств африканского сома в условиях республики только начаты [7] и требуют дальнейших работ. Целью данного исследования является определение качества товарного африканского сома, выращиваемого в бассейнах с подачей воды из термальной скважины.

Методология исследования. Исследованию подвергались африканские сомы в возрасте 8 месяцев, выращенные в проточных бассейнах с подачей воды из термальной скважины, расположенной в Алтыарыкском районе Ферганской долины. Температура воды в течение всего года составляла 23–24 °С при подаче в четыре бассейна. Бассейны были зарыблены молодью массой 15–25 г в начале июня 2024 года. Рыбу сортировали по размерным группам каждые три месяца. Кормили рыб субпродуктами переработки бройлерных цыплят (фаршем из замороженных блоков внутренностей [4]. Плотность посадки весь период выращивания выдерживали 20 кг/м³. У рыб измеряли общую (TL, см), стандартную длину тела (без хвоста) (SL, см) с точностью до 1 мм, общую массу тела (W, г) с точностью до 1 мг. Измеряли ряд линейных показателей с точностью до 1 мм по общепринятой схеме промеров [5]. Определяли массовые показатели по общепринятым методам (потрошение, обезглавливание, отделение плавников, снятие филе). Взвешивали все указанные органы с точностью до 0,1 мг на электронных весах. Определяли индексы органов по отношению к общей массе тела и статистику одной переменной для каждого индекса (%%) [9], [8]. Рассчитывали статистические показатели индексов, включая среднее, ошибку среднего (S_x), а также коэффициент вариации (C_v , %).

Результаты. Выборка включала рыб общей длиной 42,0 – 62,0 см, стандартной длиной 38,5 – 57,5 см, общей массой тела 526,8 – 1619,5 г. Видно, что африканский сом обладает высокой скоростью роста.

Между общей длиной тела и стандартной длиной тела даже в пределах одного поколения выявлена сильная положительная зависимость, которую можно характеризовать уравнением прямолинейной регрессии: $SL\ (см) = 0,924 * TL(см) - 0,8002$ ($r = 0,99$).

Между общей массой тела и стандартной длиной тела сомов выявлена зависимость, характеризующаяся уравнением регрессии степенной функции (рис. 1) и высоким значением коэффициента корреляции ($r = 0,97$).

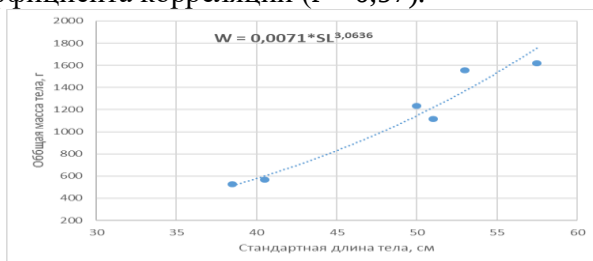


Рис. 1. Зависимость общей массы тела и стандартной длины тела африканского сома
Исследованные сомы были свежие, органолептическая оценка африканского сома дана в таблице 1.

Таблица 1.

Органолептическая оценка африканского сома согласно ГОСТ 24896-2013, Рыба живая. ТУ

Наименование показателя	Характеристика
Состояние рыбы	Проявляет признаки жизнедеятельности, с естественными движениями тела, челюстей, жаберных крышек, плавает в воде
Внешний вид	Поверхность чистая, естественной окраски, присущей данному

	виду рыбы, с тонким слоем слизи; признаки заболеваний отсутствуют.
Цвет жабр	Красный
Состояние глаз	Светлые, прозрачные, без повреждений
Запах	Свойственный живой рыбе данного вида, без посторонних запахов.

Все линейные показатели в абсолютных величинах положительно взаимосвязаны между собой. В то же время индексы этих же показателей варьируют независимо от размеров тела (рис 2, на примере длины головы).

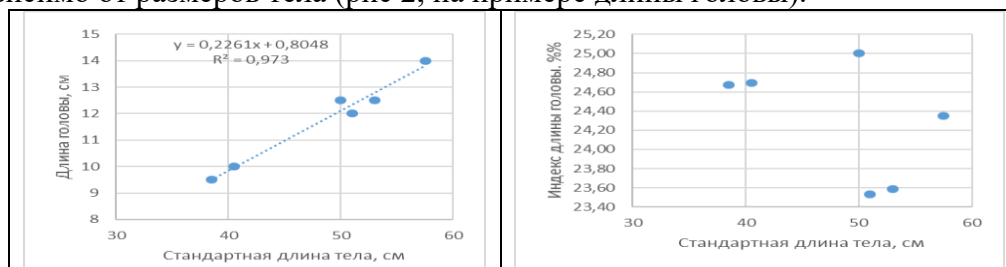


Рис. 2. Положительная зависимость линейных промеров длины тела и длин головы африканского сома (слева) и отсутствие зависимости размеров тела и индекса длины головы (справа) и исследуемых африканских сомов

Пропорции тела африканских сомов, характеризующих товарное качество, приведены в таблице 2. Отметим, что все показатели обладали невысокой изменчивостью.

Таблица 2.

Линейные показатели товарного качества африканских сомов
(%% от стандартной длины тела)

Показатель	мин	среднее	Св, %
Длина головы, см	23,5 – 25,0	24,30 ± 0,25	2,5
Длина хвостового плавника, см	9,6 – 14,0	12,31 ± 0,63	12,6
Длина тушки, см	74,0 – 78,0	75,81 ± 0,64	2,1
Наибольшая высота тела, см	18,5 – 21,0	19,75 ± 0,39	4,8
Толщина тела, см	13,7 – 15,6	14,66 ± 0,36	5,5

Все исследованные особи имели гонады на хорошо выраженной развитой II стадии зрелости, у самок коэффициент зрелости достиг 0,5 – 1,5%, у самцов 0,0 – 0,2%.

Массовый состав африканского сома приведен в таблице 3, содержание различных органов приведены в индексах.

Таблица 3.

Показатели товарного качества африканского сома, выращенного в нагульном садке,
Туябугузское водохранилище, Узбекистан, 2024

Части тела		Мин. – Макс.	Среднее ± S _x	С _v , %
Общая масса тела, г		526,8 – 1619,5	1103,1	-
Индекс, % от общей массы тела	Порка	88,5 – 96,0	90,90 ± 1.13	3,0
	Тушка	64,2 – 71,3	66,66 ± 1.00	3,7
	Хвост	0,5 – 0,8	0,68 ± 0,03	12,5
	Голова	22,3 – 25,1	23,47 ± 0,43	4,5
	Внутренности	7,7 – 10,4	8,94 ± 0,40	11,1
	Плавники	1,4 – 2,1	1,88 ± 0,10	12,7
	Кости	9,7 – 15,1	11,94 ± 0,81	16,6
	Кожа	5,9 – 7,7	6,69 ± 0,28	10,2
Филе		41,6 – 51,0	45,15 ± 1,32	7,2

Обсуждение. Африканский сом – хищная рыба, как объект рыбоводства он неожиданно занял очень своеобразную нишу в Узбекистане, благодаря широкому спектру питания. Поиски альтернатив в кормлении быстро вывели местных специалистов на использование субпродуктов переработки бройлерных цыплят, которые имеют низкую цену. Производство цыплят в республике последние годы

бурно растет, и утилизация субпродуктов могла бы быть существенной проблемой в экологическом плане. В настоящее же время все виды субпродуктов практически полностью забирают рыбоводы для кормления африканского сома [4]. В итоге сложилась своеобразная ситуация, низкие цены на такой корм позволили снизить существенно цены на товарного сома. Этому способствовала и высокая скорость роста сома, когда за один год можно получать товарную рыбу от икры. В итоге культивирование африканского сома стала своеобразным методом предотвращения загрязнения окружающей среды.

Африканский сом обладает очень высокой скоростью роста, которая реализуется и в условиях умеренного климата, в котором расположен Узбекистан. При этом в плавучих садках товарные сомы при кормлении субпродуктами переработки цыплят вырастают до 140 – 1500 г [7]. В нашем же случае при постоянной температуре воды в бассейнах африканский сом достиг к зиме первого года существенно более крупных размеров вследствие отсутствия замедления роста осенью. Это все очень высокие показатели по сравнению с традиционными объектами прудового рыбоводства, где нормативной навеской годовиков у всех объектов является 25 г [3]. Следствием этого является использование двухлетнего цикла выращивания рыб в прудовом рыбоводстве по сравнению с однолетним выращиванием товарного африканского сома.

Выводы и предложения. Африканский сом обладает высоким товарным качеством как объект в сегменте «свежая рыба».

Африканский сом является высококачественным сырьем для сегмента «рыбопереработка», индекс порки 88,5 – 96 %, индекс тушки 64 – 71 %, индекс филе 42 – 51 %.

Можно рекомендовать расширение производства африканского сома в Узбекистане, самой большой перспективой является выращивание в плавучих садках.

Список использованной литературы

- 1.Абрамова Л. С. Пути рационального использования сырьевых ресурсов рыбного хозяйства страны. - Пищевая промышленность. 2004, 3. – С. 6–10.
- 2.Камилов Б.Г., Курбанов Р.Б., Салихов Т.В. Рыбоводство – разведение карповых рыб в Узбекистане. - Ташкент: Chinor ENK, 2003. - 88 с.
- 3.Камилов Б. Г., Юлдашов М.А., Аквакультура. Учебник. / Ташкент – «LESSON PRESS», 2020. - С. 412
- 4.Муллабаев Н.Р., Собиров Ж., Уринова Г., Юлдашов М.А., Камилов Б.Г.. Утилизация субпродуктов переработки цыплят в кормлении африканского сома (*Clarias gariepinus*) в садках в условиях Узбекистана.- . Agio Inform, 2022, 1 (3). – с. 55 – 58.
- 5.Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). - Москва, Пищевая промышленность. – 376 с.
- 6.Сафронова Т. М., Дацун В. М. Сырье и материалы рыбной промышленности. - Москва: Мир, 2004. - 272 с.
- 7.Урунова Г., Утемуратова Ф., Ким С., Давлатова М., Эбосинов Ж. Особенности технологических свойств товарного африканского сома, выращенного в садках в Ташкентской области. - “O‘zbekiston qishloq va suv xo‘jaligi” jurnalining “Agro Ilm” ilmiy ilovasi, 2024, 1. – С.75 – 76.
- 8.Цибизова М.Е. Технологические показатели и биологическая ценность маломерного сырья Волго-Каспийского бассейна. - Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство, 2012, 3. - С. 182 - 188
- 9.Чернышова О. В., Цибизова М. Е. Изучение возможности использования малоразмерного рыбного сырья Волго-Каспийского бассейна в технологии пастообразной продукции. - Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство, 2011, 2. – С. 179–185.
- 10.FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. In brief. Sustainability in action. Rome.

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВАРНОГО КАРПА,
CYPRINUS CARPIO, В ПРУДАХ БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ****Юлдашов Мансур**Ташкентский государственный аграрный университет, профессор
yuldashovmansur1964@gmail.com.**Носиров Олимжон**

Ташкентский государственный аграрный университет, докторант

Нурматова Рухсора

Ташкентский государственный аграрный университет, магистр

Камилов Бахтияр

Филиал Астраханского государственного технического университета в

Ташкентской области, профессор

ORCID 0000-0002-1597-6132

УДК 597.55: 639.3

Аннотация. В декабре 2024 года определяли меристические и пластические признаки двухлеток карпа (*Cyprinus carpio*), культивируемых в прудовом рыбоводстве низовьев реки Зарафшан (Бухарская область, Узбекистан). У случайных 25 особей определены меристические показатели: D IV 18-19, A III 5, на первой жаберной дуге 26 - 28 тычинок. Достаточно существенная часть товарных карпов являются зеркальными, вследствие чего количество чешуй в боковой линии не подсчитывали. У чешуйчатых карпов в боковой линии 37 - 39 чешуй. На первой жаберной дуге 26-28 тычинок. Глоточные зубы трехрядные 1.1.3-3.1.1. На верхней губе две пары усиков. Карп в прудовом рыбоводстве имеет достаточно высокое тело, что было одним из направлений селекций. Приведены индексы пластических признаков по классической схеме промера рыб семейства карповых, а также по методу геометрической морфометрии.

Ключевые слова: карп, *Cyprinus carpio*, аквакультура, морфология рыб, рыбоводство, Бухарская область, Узбекистан

Annotatsiya. 2024 yil dekabr oyida Zarafshon daryosi quyi oqimida (O'zbekistonning Buxoro viloyati) hovuz baliqchiligi sharoitida yetishtirilayotgan ikki yoshlik karp (*Cyprinus carpio*) baliqlarining meristik va plastik belgilari aniqlandi. Tasodifan olingan 25 ta baliqning meristik ko'rsatkichlari aniqlandi va ular quyidagicha: D IV 18-19, A III 5, birinchi oyquloq yoyidagi ustunchalar soni 26 – 28 ta. Tovar karp baliqlarining ancha qismi oynasimon karp baliqlari bo'lganligi sababli yon chizig'idagi tangachalar soni sanalmadi. Tangachali karp baliqlari yon chizig'idagi tangachalar soni 37-39 ta. Jabrasining birinchi yoyidagi ustunchalar soni 26-28 ta. Halqum tishlari uch qator 1.1.3-3.1.1. Ustki labida bir juft mo'yovlari bor. Hovuz baliqchiligida karp baliqlari tanasi sezilarli darajada baland, bu selektsiyaning yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Plastik belgilari ko'rsatkichi karpsimon baliqlar oilasi vakillarini o'lchash chizmasi bo'yicha shuningdek, geometrik morfometriya usuli usuli bo'yicha keltirilgan.

Kalit so'zlar: karp, *Cyprinus carpio*, akvakultura, baliqlar morfologiyasi, baliqchilik, Buxoro viloyati, O'zbekiston.

Введение. Карп, *Common carp*, - представитель семейства карповых (*Cyprinidae*) – является одним из важных в прудовой поликультуре Узбекистана, которую развивают в республике с начала 1960-х в Ташкентской области. Тогда для создания нового сектора экономики завезли карпа украинской породы, происходили смешивания с местным окультуренным карпом из озер. Основным методом воспроизводства является заводское воспроизводство [2]. Уже с 1970-х потомство карпа из рыбопитомников Ташкентской области завозили во все регионы Узбекистана, создавали собственные маточные стада и освоили искусственное воспроизводство, в том числе и в Бухарской области (низовья реки Зарафшан). Несмотря на промысловую значимость карпа работ по морфологическим особенностям этого ценного вида практически не проводили. Целью данной работы было исследование морфологических особенностей рыбопосадочного материала (годовиков) карпа, выращиваемых в Бухарской области в низовьях реки Зарафшан.

Материал и методика. Материал собирали в декабре 2024 года в рыбхозе «Nodir Nozim quli» Бухарской области в низовьях реки Зарафшан. Из уловов товарного карпа (двухлеток), направляемых на реализацию в торговлю, отобрали без выбора 25 особей. У рыб измерили общую (TL, см) и стандартную (SL, см)

длины тела, общую массу (W , г) тела. Рыб клали на бок, распрямили плавники и делали цифровые фотографии с помощью штатива. Ось фотокамеры была строго перпендикулярна плоскости, на которой лежала зафиксированная рыба. Пластические признаки измеряли по цифровым фотографиям с помощью инструмента «Линейка» в программе «Photoshop». Измеряли признаки по схеме промеров рыб семейства карповых (*Cyprinidae*). Также выделили 10 ориентиров по периметру тела рыбы, лежащей на боку. Фотографировали рыб целиком под строгим прямым углом с помощью зафиксированного штатива. По фотографиям измеряли расстояния по прямой между ориентирами, т.е. составили т.н. «truss»-протокол [7],[8],[9]. Линии промеров указаны в следующем формате: например, «2 – 4» обозначает промер между ориентирами 2 и 4 по прямой (рис. 1). Для нивелирования влияния аллометрического роста рыб рассчитывали индексы (%%) пластических признаков по отношению к стандартной длине тела.

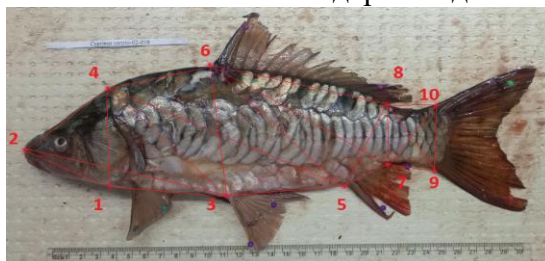


Рис. 1. Ориентиры на поверхности тела двухлеток карпа, Бухарская область

Результаты. В нашей выборке у двухлеток карпов в спинном плавнике IV 18-19 лучей, в анальном III 5 лучей. У чешуйчатых карпов в боковой линии 37 - 39 чешуй. Однако, для карпа, для которого одним из направлений селекции было усиление доли зеркальных карпов, данный показатель не всегда имеет смысл определять как биологическую величину. На первой жаберной дуге 26-28 тычинок. Глоточные зубы трехрядные 1.1.3-3.1.1. На верхней губе две пары усиков. Карп в прудовом рыбоводстве имеет достаточно высокое тело, что было одним из направлений селекции. Рот нижний. В спинном и анальном плавниках есть по зазубренному костяному лучу. В нашей выборке 12 особей из 25 был чешуйчатый покров известный как зеркальный разбросанный карп, у остальных все тело было полностью покрыто крупной чешуей.

В исследованной выборке годовалых карпов были особи общей длиной 29,5 – 32,3 см, стандартной длиной 24,5 – 27,2 см. Общая масса тела годовиков была 312-446 г.

Индексы пластических признаков промеров тела двухлеток карпа в %% от стандартной длины тела по классической схеме промеров карповых рыб представлены в таблице 1, промеров головы в %% от длины головы приведены в таблице 2, промеров тела по ориентирам геометрической морфометрии («truss-protocol») (%% от стандартной длины тела) – в таблице 3.

Таблица 1. Индексы пластических признаков двухлеток карпа по классической схеме промеров карповых

Показатель	Мин.	Макс.	Среднее	Ошибка среднего	$C_v, \%$
Общая длина тела (TL)	112,1	120,8	116,66	0,68	2,3
Длина туловища	70,5	75,3	72,62	0,43	2,3
Длина рыла	6,8	10,3	8,57	0,26	11,7
Диаметр глаза	3,7	5,6	4,58	0,13	11,0
Заглазничный отдел головы	13,4	16,6	14,84	0,27	7,1
Длина головы	23,8	29,6	26,97	0,48	6,8
Высота головы у затылка	20,3	24,6	22,15	0,30	5,3
Наибольшая высота тела	32,4	37,2	34,76	0,35	3,9

Наименьшая высота тела	12,6	15,9	14,47	0,24	6,6
Антедорсальное расстояние	48,8	55,7	51,22	0,49	3,7
Постдосальное расстояние	24,0	32,8	27,49	0,58	8,1
Длина хвостового стебля	13,4	19,0	16,11	0,39	9,3
Длина основания D	39,1	45,4	41,25	0,44	4,1
Наибольшая высота D	14,8	18,9	16,84	0,28	6,4
Длина основания A	8,1	12,5	10,70	0,31	11,3
Наибольшая высота A	13,6	19,4	15,74	0,43	10,7
Длина P	15,0	21,2	18,32	0,49	10,3
Длина V	14,2	20,4	17,23	0,40	8,9
Расстояние P-V	21,7	25,6	22,68	0,24	4,1
Расстояние V - A	25,6	31,4	28,33	0,43	5,8

Таблица 2. Индексы пластических признаков промеров головы двухлеток карпа (% от длины головы)

Показатель	Мин.	Макс.	Среднее	Ошибка среднего	C _v , %
Длина рыла	27,0	36,9	31,75	0,67	8,2
Диаметр глаза	14,1	19,5	17,03	0,47	10,8
Заглазничный отдел головы	47,7	64,8	55,13	1,05	7,3
Высота головы у затылка	71,6	103,3	82,57	2,17	10,2

Таблица 3. Индексы пластических признаков геометрической морфометрии годовиков карпа

Показатель	Мин.	Макс.	Среднее	Ошибка среднего	C _v , %
2 - 4	19,8	24,7	22,76	0,36	6,1
4 - 6	26,0	32,7	29,60	0,51	6,7
6 - 8	38,9	44,7	41,04	0,41	3,9
8 - 10	8,8	14,6	12,30	0,44	14,0
9 - 10	14,7	16,9	15,95	0,16	3,9
7 - 9	9,3	15,6	12,49	0,40	12,3
5 - 7	8,3	11,4	10,31	0,21	7,8
3 - 5	24,0	30,9	27,53	0,46	6,5
2 - 3	47,5	52,6	49,46	0,36	2,8
1 - 2	21,5	27,6	24,42	0,48	7,6
1 - 4	22,3	25,9	24,17	0,26	4,1
1 - 3	21,6	27,9	24,82	0,59	9,2
3 - 4	39,5	42,1	40,69	0,21	2,0
5 - 6	41,0	45,4	44,26	0,31	2,7
7 - 8	12,6	17,8	15,99	0,35	8,5
4 - 5	60,1	69,2	63,19	0,60	3,7
3 - 6	33,1	37,1	35,31	0,32	3,5
6 - 7	45,4	56,9	48,47	0,69	5,5
5 - 8	20,4	23,8	22,58	0,26	4,5
7 - 10	18,1	21,3	19,82	0,25	4,9
8 - 9	17,0	23,4	20,48	0,50	9,4

Обсуждение. В рыбохозяйственных исследованиях различают дикую форму вида (сазана) и культурную формы. Сазан обитал в бассейне Аральского моря по всем равнинным регионам, хотя и не создавал промысловых скоплений. В том числе обитал в разнотипных водоемах бассейна Зарафшана. Культурные формы карпа в Узбекистан ведут свою историю от завезенных рыб (в начале 1960х) украинской чешуйчатой породы карп, а также частичного смешивания их с местным

окультуренным карпом из среднего течения Сырдарьи. В Ташкентской области было освоено заводское массовое воспроизводство этого объекта, потомство карпа регулярно зарыбляли во все регионы Узбекистана. Высокоспинный культурный карп хорошо приспособился к условиям естественных водоемов, заменил везде дикого прогонистого сазана [3], [5].

В мировом рыбохозяйственном секторе карп как объект аквакультуры относится к основным и входит в пять объектов с самым большим производством [4].

В естественных водоемах ареала в пределах стран СНГ у карпа отмечали следующие меристические показатели: D III – IV 15 – 22, A III – IV 5 – 6, в боковой линии 32 – 41 чешуй, на первой жаберной дуге 21 – 29 тычинок [1]. В водоемах бассейна Аральского моря у карпа отмечали следующие меристические показатели: в спинном плавнике III-IV 18-19, в анальном III 5 лучей. В боковой линии у чешуйчатых форм 36-40 чешуй. На первой жаберной дуге 25-30 тычинок. Глоточные зубы трехрядные 1.1.3-3.1.1. Видно, что наши данные хорошо вписываются в указанные разбросы показателей.

Выводы и предложения. На карпа, как и на другие объекты, которых содержат в открытых условиях, оказывает возрастающее влияние антропогенный фактор. Для такого важно объекта следует отслеживать биологические характеристики и их изменения, о которых информацию дают морфологические показатели, контролируемые полигенами. Морфометрические показатели отражают не только генетические условия, но адаптационный потенциал видов. Важно фиксировать фенотипические изменения вида в процессе их онтогенеза, как, например, делают в отношении белого толстолобика и других ценных видов специалисты Китая [6], [10]. В Узбекистане, несмотря на ценность карпа для промышленности, практически морфологических исследований не проводили.

Отметим, что мы проанализировали двухлеток карпа (в рыбоводстве – это ценная возрастная группа, известная как товарная рыба). С биологической точки зрения – это неполовозрелые поколения карпа в местных условиях. В данной работе мы охарактеризовали карпа в прудовых хозяйствах низовьев реки Зарафшан.

Список использованной литературы

1. Атлас пресноводных рыб России: в 2х томах. Том 1. – Москва, Наука, 2003. – 379 с.
2. Камилов Б.Г., Курбанов Р.Б., Салихов Т.В. Рыбоводство – разведение карповых рыб в Узбекистане. – Ташкент, ChinorENK, 2003. – 88 с.
3. Салихов Т.В., Камилов Б.Г., Атаджанов А.К. Рыбы Узбекистана (определитель). – Ташкент: Chinor-ENK, 2001. – 152 с.
4. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. – Рим, ФАО. <https://doi.org/10.4060/ca9229ru>
5. Юлдашов М.А., Салихов Т.В., Камилов Б.Г. Ўзбекистон балиқлари. – Тошкент: Lesson press, 2018. – 156 б.
6. Cao, W.X. 2008. Expert forum: The Yangtze Valley water ecological environment and sustainable economic development -Several issues on the protection of fish resources in Yangtze River Basin [J]. Res Env Yangtze Valley, 17(2): 163-164. (in Chinese)
7. Strauss, R.E., Bond, C.E. Chapter 4 Taxonomic Methods: Morphology. – In: Methods for fish biology, Carl B Schreck; Peter B Moyle editors, Bethesda, Md., USA: American Fisheries Society, 1990. – pp. 109 – 140.
8. Strauss, R.E., Bookstein, F.L. The truss: body form reconstruction in morphometrics. – Syst. Zool., 1982, 31 (2). – pp. 113 – 135.
9. Swee, U. B., McCrimmon, H. R. 1966. Reproductive biology of the carp, *Cyprinus carpio* L., in Lake St. Lawrence, Ontario. - Transactions of the American Fisheries Society, 1966, 95 (4). – P. 372-380.
10. Yu, H.X., Tang, W.Q., Li, S.F. Morphological changes of silver and bighead carp in the Yangtze River over the past 50 years. - Zoological Research, 2010, 31(6). – pp. 651–656. DOI : 10.3724/SP.J.1141.2010. 06651

**JANUBIY O'ZBEKISTON SUDRALIB YURUVCHILARI SESTODALARINING
(CESTODA RUDOLPHI, 1809) TARAQQIYOT SIKLI****Toshov Utkir Jumayevich**

Qarshi davlat universiteti, katta o'qituvchi

utkirtoshov867@gmail.com

ORCID 0009-0008-9200-7539

Ruziyev Baxtiyor Xushmuratovich

Qarshi davlat universiteti, dotsent

bruziev@list.ru

ORCID 0000-0003-1991-1800

UDK 576.895.1.598.1

Annotatsiya. Janubiy O'zbekiston sudralib yuruvchilari sestodalarining (Cestoda Rudolphi, 1809) taraqqiyot siklini o'rganish maqsadida 2020-2022-yillarda tadqiqot ishlari olib borildi. Bunda Cestoda (Rudolphi, 1809) sinfining Cyclophylillidea (Beneden in Braun, 1900) turkumi Dipylidiidae (Mola, 1929) oilasiga mansub *Diplopylidium noelleri* (Skrjabin, 1924) va Mesocestoidae (Poiriet, 1897) oilasiga mansub *Mesocestoides lineatus* (Goeze, 1782) gelmintining taraqqiyot sikli o'rganildi.

Diplopylidium noelleri ning taraqqiyot sikli oraliq xo'jayin – qo'ng'izlar va rezervuar xo'jayin – reptiliyalarning gekkonlar (Gekkonidae), agamalar (Agamidae), kaltakesaklar (Lacertidae) oilasi vakillari ishtirokida o'tishi aniqlandi. *Diplopylidium noelleri* yetuklik bosqichida yovvoyi go'shtxo'r hayvonlarda (bo'ri, tulki, shoqol, yovvoyi mushuk va boshq.) parazitlik qiladi. Oraliq, rezervuar va definitiv xo'jayinlarning areali bir-biriga mos bo'lib, bu sistematik gruppalar tur soni jihatdan Janubiy O'zbekiston cho'l-dasht landshaftlaridagi biosenozlarda katta o'rin egallaydi. Bu esa *D.noelleri* ning taraqqiyot siklini muvaffaqiyatli o'tishini ta'minlaydi.

*Mesocestoides lineatus*ning definitiv xo'jayini – it, tulki, bo'rsiq va boshqalarning fekaliysida kuzda (noyabr) hamda erta bahorda (mart) destrablyatsiya jarayoni biroz tezlashadi va ko'plab mezosestoid tuxumi ajralib chiqib atrof-muhitni invazion elementlar bilan ifloslantiradi. Bu vaqtda oribatid kanalar sestoda tuxumlarini yutib yuboradi va shu tariqa sestoda bilan zararlanadi.

Asosiy xo'jayin ingichka ichagida voyaga yetgan sestodaning destrablyatsiya davri gelmintning oraliq xo'jayini – oribatid kanalarining aktiv harakat qilishi, ya'ni tuproq betiga ko'proq migratsiya qilish davriga to'g'ri keladi.

Mesocestoides lineatus ning taraqqiyot sikli oraliq xo'jayin – oribatid kanalar va rezervuar xo'jayin – reptiliyalarning agamalar (Agamidae) va kaltakesaklar (Lacertidae) oilasi vakillari ishtirokida o'tadi.

Kalit so'zlar: gelmint, sestoda, reptiliya, definitive xo'jayin, oraliq xo'jayin, rezervuar xo'jayin, lichinka, tetradiy, mezosestoid, qo'ng'izlar, oribatid kanalar, "parazit-xo'jayin" tizimi.

**DEVELOPMENT CYCLE OF CESTODA (CESTODA RUDOLPHI, 1809)
REPTILES OF SOUTHERN UZBEKISTAN**

Abstract. Research work was carried out in 2020-2024 in order to study the development cycle of cestodes (Cestoda Rudolphi, 1809) reptiles of Southern Uzbekistan. In this case, the development of the helminth *Diplopylidium noelleri* (Skrjabin, 1924) belonging to the family Dipylidiidae (Mola, 1929) of the class Cyclophylillidea (Beneden in Brown, 1900) of the class Cestoda (Rudolphi, 1809) and *Mesocestoides lineatus* (Goeze, 1782) belonging to the family Mesocestoidae (Poiriet, 1897) cycle was studied.

It was found that the development cycle of *Diplopylidium noelleri* takes place with the participation of the intermediate host – beetles and the reservoir host – representatives of the geckos (Gekkonidae), agamidae (Agamidae), lizards (Lacertidae) family of reptiles. *Diplopylidium noelleri* is a parasite in wild carnivorous animals (wolf, fox, jackal, wild cat, etc.) at maturity. The areas of intermediate, reservoir and definitive hosts are compatible with each other, and these systematic groups occupy a large place in the biocenoses of the desert-steppe landscapes of southern Uzbekistan in terms of the number of species. This ensures the successful development cycle of *D.noelleri*.

In the feces of the definitive host of *Mesocestoides lineatus* – dog, fox, badger, in autumn (November) and early spring (March), the process of destruction accelerates a little, and many mesocestoid eggs are released and pollute the environment with invasive elements. At this time, the oribatid mites ingest the cestodes eggs and are thus infected with the cestodes.

The period of destabilization of an adult cestode in the small intestine of the main host corresponds to the period of active movement of the intermediate host of the helminth – oribatid mites, that is, more migration to the soil surface.

The developmental cycle of *Mesocestoides lineatus* takes place with the participation of the intermediate host – oribatid mites and the reservoir host – representatives of the reptilian family of agamidae and lizards (Lacertidae).

Keywords: helminth, cestode, reptile, definitive host, intermediate host, reservoir host, larva, tetrad, mesocestoid, beetles, oribatid mites, "parasite-host" system.

Kirish. Ma'lumki, Qashqadaryo viloyati O'zbekistonning janubiy viloyatlaridan biri bo'lib, uning hududi, asosan, Qashqadaryo botig'ini o'z ichiga olgan; shimol, sharq va janubi-sharqdan Zarafshon hamda Hisor tizma tog'lari bilan o'ralgan. Tog'lar bilan tekisliklar orasini adirlar egallagan. Tekislikning katta qismi g'arbda Sandiqli va Qizilqum cho'llari bilan tutashgan Qarshi cho'lidan iborat [8].

Viloyatning tabiati o'ziga xos bo'lib, hayvonot dunyosi, ayniqsa gerpitofaunasi turlar xilmaxilligiga nihoyatda boy. Binobarin, reptiliyalar Janubiy O'zbekiston cho'l ekosistemalarining muhim komponentlaridan biri sifatida ushbu ekosistemalarda katta ahamiyatga ega. Shuningdek, sudralib yuruvchilar ekosistemalarda ozuqa zanjirining muhim halqasi bo'lib qolmay, gelmintlarning taraqqiyot siklida ishtirok etuvchi asosiy zvenolardan biri hamdir [6].

Gelmintlar aksariyat umurtqali hayvonlarning parazitlari sifatida tabiatda keng tarqalgan. Ular orasida Sestodalar (Cestoda, Rudolphi, 1809) sinfi vakillari alohida ahamiyatga ega bo'lib, biologik nuqtayi nazardan sestodalar boshqa parazit chuvalchanglar ichida o'ziga xos o'rin egallaydi. Chunki ular biogelmintlar bo'lib, evolyutsiya jarayonida ontogenezining barcha bosqichlarini quruqlik hamda suv muhiti umurtqali va umurtqasiz hayvonlarida o'tkazishga moslashgan. Voyaga yetgan parazitlar definitiv xo'jayin organizmining ovqat hazm qilish sistemasi (ko'proq ichakda) parazitlik qilsa, lichinkalik stadiyasi esa odatda oraliq xo'jayinning gavda bo'shlig'i va to'qimalarida o'tadi. Cestodalar asosan baliqlar, amfibiylar, reptiliyalar, qushlar va sut emizuvchi hayvonlarning turli organlari va sistemalarida parazitlik qiladi. Bu gelmintlarning taraqqiyot sikllari xo'jayin almashtirish va nasllar gallanishi orqali o'tib, uchta organizm: parazit, definitiv va oraliq xo'jayin ishtirok etadi. Bunda bu organizmlarning har biri invazion elementlarni tarqatuvchi hisoblanadi [1, 2, 7, 10].

Shuningdek, bu hayvonlar o'zida turli-tuman mikro va makroparazitlar faunasini saqlashi bilan ham ahamiyatlidir. Mazkur fauna xo'jayinlar (reptiliyalar) ning geografik joylashuvi va turiga bog'liq ravishda ma'lum darajada o'zgarib turadi [2].

Bundan tashqari, reptiliyalar gelmintlar uchun asosiy va rezervuar xo'jayin vazifasini bajaradi va ularning tabiatdagi sirkulyatsiyasida muhim rol o'ynaydi [3].

Darhaqiqat, gelmintlar ham biogeosenozlarning muhim komponentlaridan biri bo'lib, bevosita yoki bilvosita – xo'jayin (reptiliyalar) orqali ekosistemalarda moddalar aylanishi va turlar sonini tartibga solib turilishida ishtirok etadi [1].

Sudralib yuruvchilar parazitlarining rivojlanish siklida o'zlari yashaydigan sharoit ham asosiy rol o'ynaydi. Parazitlarni rivojlanish sikllari ham turli xilda amalga oshadi. Rivojlanish davrida har bir parazit bir qator bosqichlarni bosib o'tadi, ana shu bosqichlar parazitlar morfologik xususiyatlariga ko'ra bir-biridan farq qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Janubiy O'zbekiston sudralib yuruvchilari sestodalarining (Cestoda Rudolphi, 1809) taraqqiyot siklini o'rganish maqsadida 2020-2024-yillarda tadqiqot ishlari olib borildi. Bunda Cestoda (Rudolphi, 1809) sinfining Cyclophylillidea (Beneden in Braun, 1900) turkumi Dipylidiidae (Mola, 1929) oilasiga mansub *Diplopylidium noelleri* (Skrjabin, 1924) va Mesocetoidae (Poiriet, 1897) oilasiga mansub *Mesocetoides lineatus* (Goeze, 1782) gelmintining taraqqiyot sikli o'rganildi.

Bunda K.I.Skryabin (1928) uslubi asosida yil fasllarini inobatga olgan holda reptiliyalar gelmintologik tekshiruvdan o'tkazildi (jadval).

Jadval

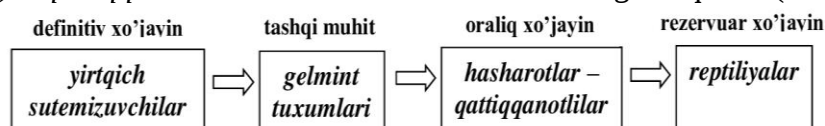
Tekshirilgan hayvonlar tarkibi va miqdori

O'rganilgan hayvonlar	Miqdori, nusxada
Sudralib yuruvchi hayvonlar, shu jumladan:	86
Gekkonidae:	
<i>Cyrtopodion fedtschenkoi</i> – Turkiston gekkoni	12

<i>Teratoscincus scincus</i> – Ssink gekkoni	18
Agamidae:	
<i>Stellio lehmanni</i> – Turkiston agamasi	8
<i>Stellio himalayanus</i> – Himolay agamasi	3
<i>Trapelus sanguinolentus</i> – dasht agamasi	5
Lacertidae:	
<i>Eremias velox</i> – tez kaltakesakcha	21
<i>Eremias arguta</i> – rang-barang kaltakesak	19

Natijalar va muhokama. Go'shtxo'r hayvonlarning parazitlari hisoblangan *Diplopylidium noelleri* sestoda turining rivojlanishi oraliq (Insecta: Coleoptera) va rezervuar (reptiliyalar) xo'jayinlar ishtirokida boradi. Xo'jayinlardagi rivojlanish muddatlari eksperimental tarzda o'rganildi.

Diplopylidium noelleri turining hayot sikli *sutemizuvchilar (yirtqichlar) – tuxumlari (tashqi muhit) – qattiqqanotlilar – sudraluvchilardan* iboratligi aniqlandi (1-rasm).



1-rasm. *Diplopylidium noelleri* (Skrjabin, 1924) ning taraqqiyot sikli sxemasi

Sudralib yuruvchilarda parazitlik qiluvchi sestodalardan Dipylidiidae oilasi vakillarining hayot sikli kam o'rganilgan.

C.N.Macpherson va P.R.Torgenson ma'lumotlariga ko'ra, mazkur oila vakili – *Diplopylidium skrjabini* oraliq xo'jayin ishtirokida rivojlanib, bunda kaltakesaklarning *Gymnodactylus caspius* turi oraliq xo'jayin vazifasini o'taydi [9].

2020-2024-yillarda Qashqadaryo viloyatining cho'l hududlari yaylovlaridagi bo'g'imoyoqlilar gelmintlarning lichinkalik shakllari bilan zararlanganligini o'rganish jarayonida qo'ng'izlarning *Adesmia gebleri*, *A.biseriata*, *A.septemcostata* turlarida morfologik belgilari bilan *Diplopylidium* avlodi sistiserkoidlariga mos keladigan sistiserkoidlar topildi.

Sistiserkoidlar qo'ng'izlarning tana bo'shlig'idan ajratib olindi. Ular biriktiruvchi to'qima kapsulasida joylashgan bo'lib, diametri 0,28-0,37 mm va sharsimon yoki ovalsimon shaklda. Skoleksi ichkariga tortilgan bo'lib, diametri 0,06-0,08 mm keladigan to'rtta so'rg'ich bilan qurollangan. Xartumchasining uchki tomonida har birida 21-24 tadan 3 qator ilmoqchalar joylashgan. Birinchi qatordagi ilmoqchalarning kattaligi 0,03-0,04 mm. Keyingi 2 qatordagi ilmoqlarning kattaligi birinchi qatordagiga nisbatan ancha kichik.

Hayvonlar 38, 64 va 97-kunlari to'liq gelmintologik tekshiruvdan o'tkazildi.

Topilgan lichinkalarning 25 nusxasini morfologik belgilarini chuqur o'rganish natijasida ularning Dipylidiidae oilasi *Diplopylidium noelleri* turiga mansub ekanligi aniqlandi.

Kaltakesaklardan ajratib olingan *Diplopylidium noelleri* tetratiridiylari 1,5-3 soat mobaynida skolekslarini ichkariga tortgan holda turdi. Bu vaqtda lichinkaning tana shakli noksimon yoki sharsimon formada bo'lib, diametri 0,66-0,80 mm. Skoleksi to'rtta kuchli, qavariq so'rg'ichlar bilan qurollangan. Xartumchasi nisbatan kalta bo'lib, ustki tomonida 3 qator ilmoqchalar joylashgan. Ilmoqchalarning soni 1-qatorda 24-26, 2-qatorda 20-22, 3-qatorda 18-20 tani tashkil etadi. Ilmoqchalarning uzunligi esa 1-qatorda 0,042-0,044 mm. dan iborat. Ikkinchi qatordagi ilmoqchalarning uzunligi ancha kalta. Lichinkaning qobig'i zich biriktiruvchi to'qimali tashqi va g'ovak to'qimali ichki qavatdan iborat. Parenximasi turli shakldagi (sharsimon, oval) va o'lchamdagi ohak zarrachalari bilan qoplangan. Integumentning uzunligi skoleksining asosida 0,25-0,32 mm.ni tashkil etadi.

Shunday qilib, *Diplopylidium noelleri*ning taraqqiyot sikli oraliq xo'jayin – qo'ng'izlar va rezervuar xo'jayin – reptiliyalarning gekkonlar (Gekkonidae), agamalar (Agamidae), kaltakesaklar (Lacertidae) oilasi vakillari ishtirokida o'tadi.

Diplopylidium noelleri yetuklik bosqichida yovvoyi go'shtxo'r hayvonlarda (bo'ri, tulki, shoqol, yovvoyi mushuk va boshq.) parazitlik qiladi.

Oraliq, rezervuar va definitiv xo'jayinlarning areali bir-biriga mos bo'lib, bu sistematik gruppalar tur soni jihatdan janubiy O'zbekiston cho'l-dasht landshaftlaridagi biosenozlarda katta o'rin egallaydi. Bu esa *D.noelleri*ning taraqqiyot siklini muvaffaqiyatli o'tishini ta'minlaydi.

Mesocetoides lineatus (Goeze, 1782) sestoda turining hayot sikli. Janubiy O'zbekiston sharoitida *Mesocetoides lineatus* turi ancha keng tarqalgan bo'lib, voyaga yetgan parazit xoldor mushuk, shoqol, qarsoq, qamish mushuklarida uchraydi va zararlanish ekstensivligi 31,2% ga teng [4]. Shuningdek, tulki, bo'rsiq kabi yovvoyi hayvonlarda invaziya intensivligi yuqori ekanligi (31-236 nusxagacha) qayd etilgan [5].

Sestodaning lichinkalari (tetratiridiy) sudraluvchilardan sariq ilon, cho'l agamasi, kaltakesaklarda hamda turli kemiruvchi hayvonlarda (kalamushlar, dala sichqoni va boshq.) tarqalganligi ma'lum.

Tetratiridiylar uzunchoq shaklda bo'lib, uzunligi 5-7 sm. dan 10-19 sm. gacha. Tanasining oldingi qismi kengaygan, orqa qismi esa torayib ingichkalashgan. Oldingi qismida so'rg'ichlar bilan "qurollangan" skoleks mavjud.

Sestodaning tarqalishi, populyasiya strukturasi, hayot sikli, oraliq, rezervuar, definitiv xo'jayinlarning turlar tarkibi, ekologik xususiyatlari, destrobilyasiya jarayoni va tashqi muhitni gelmint tuxumlari bilan zararlanishi, "parazit-xo'jayin" tizimining faolligi va boshqa jarayonlar bo'yicha O'zbekiston hududi tabiiy sharoitida to'plangan materiallar hamda mavjud adabiyotlarda bo'lgan ma'lumotlarni tahlil qilish natijalarini o'rganib quyidagi xulosalarga kelindi.

Sestodaning definitiv xo'jayini – it, tulki, bo'rsiq va boshqalarning fekalidsida kuzda (noyabr) hamda erta bahorda (mart) destrobilyasiya jarayoni biroz tezlashadi va ko'plab mezosestoid tuxumi ajralib chiqib atrof-muhitni invazion elementlar bilan ifloslantiradi. Bu vaqtda oribatid kanalar sestoda tuxumlarini yutib yuboradi va shu tariqa sestoda bilan zararlanadi.

Xarakterli tomoni shundaki, asosiy xo'jayin ingichka ichagida voyaga yetgan sestodaning destrobilyasiya davri gelmintning oraliq xo'jayini – oribatid kanalarining aktiv harakat qilishi, ya'ni tuproq betiga ko'proq migratsiya qilish davriga to'g'ri keladi. Oribatid kanalar tog'oldi yaylovlari, nam tuproqli biotoplarda ko'proq uchraydi.

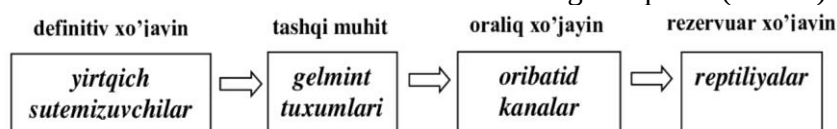
Mezosestoidlarning ikkinchi parazit populyasiyasi – tetratiridiylar bilan rezervuar xo'jayin – sudraluvchilarning zararlanishi ko'proq yoz hamda erta kuz fasllariga to'g'ri keladi. Zararlanish intensivligi 32,6% ga teng.

Ushbu sestodaning oraliq xo'jayinlari asosan *Scheloribates* avlodiga mansub oribatid kana turlari hisoblanadi.

Parazit lichinkalari rezervuar xo'jayinlar – sudraluvchilar, kemiruvchilar, tipratikanlar tanasida "akkumulyasiya" (to'planish) sodir bo'ladi. Shu sababli yilning turli fasllarida definitiv xo'jayinni zararlaydilar. O'zbekiston sharoitida bu sestodaning asosiy rezervuar xo'jayinlari sudraluvchilar hisoblanadi.

Tadqiqotlarimizdan ma'lum bo'lishicha, mezosestoidlarning to'rtta guruh populyatsiyasi (tuxum, sistiserkoid, tetradiritiy hamda voyaga yetgan sestoda) davrini (ontogenez) o'taydi. U uchta sistematik gruppaga vakillari organizmiga hamda atrof-muhit sharoitiga bio-ekologik jihatdan yaxshi moslashgan. Bu esa o'z navbatida turli ekologik sharoitlarda yashovchi umurtqali hayvonlar biosenotik aloqalarni saqlanishi va shu tariqa gelmint hayot siklini ro'yobga chiqarishni ta'minlaydi.

Ushbu gelmintlarning hayot sikli *sutemizuvchilar (yirtqichlar) – tuxumlari (tashqi muhit) – oribatid kanalar – sudraluvchilardan* iborat ekanligi aniqlandi (2-rasm).



2-rasm. *Mesocetoides lineatus* (Goeze, 1782) sestodasining hayot sikli sxemasi

Shunday qilib, *Mesocestoides lineatus*ning taraqqiyot sikli oraliq xo'jayin – oribatid kanalar va rezervuar xo'jayin – reptiliyalarning agamalar (Agamidae) va kaltakesaklar (Lacertidae) oilasi vakillari ishtirokida o'tadi.

Xulosa. Sudralib yuruvchilarning gelmintlar hayot siklida ishtirok etishi, tegishli ekotizimlarning komponentlari bilan biosenotik o'zaro aloqalarning namoyon bo'lishining bir ko'rinishi hisoblanadi va gelmintozlar epizootik jarayonida ma'lum bir rol o'ynaydi.

Binobarin, sudralib yuruvchilar O'zbekiston biosenozlarida umurtqali hayvonlar landshaft guruhlaridan biri hisoblanadi. Tarqalish areali bo'yicha ular boshqa quruqlik umurtqali hayvonlaridan ustunlik qiladi, ko'p miqdorda hasharot va kemiruvchilarni qiradi hamda ayrim sut emizuvchilar va qushlarning ozuqasi sifatida xizmat qiladi. Bu bilan sudralib yuruvchi hayvonlar ekosistemalarda moddalar aylanishida muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Аннаев Дж. Гельминты пресмыкающихся Туркменистана // Ашхабад: Ылим, 1992. – 223 с.
2. Berdiyev A.S. Qoraqalpog'iston yirtqich sut emizuvchilari (Mammalia: Carnivora) gelmintlari: biol. fanl. fals. dok. (PhD) diss. avtoref. – Nukus, 2022. – 40 b.
3. Кучбаев А.Э., Кучарова И.Ш. К гельминтофауне быстрой ящурки – *Eremias velox* // Узбекский биологический журнал. – Ташкент, 2002. – № 2. – С. 31-38.
4. Муминов П.А. Гельминтофауна диких плотоядных Узбекистана и её роль в эпидемиологии и эпизоотологии // Сборник: Гельминты животных и растений Узбекистана. – Ташкент, 1968. – С. 36-42.
5. Султанов М.А., Муминов П.А. и др. Гельминты животных Каракалпакской АССР // В кн.: Паразиты животных и человека низовьев Амударьи. – Ташкент: Фан, 1969. – С. 60-65.
6. Toshov U.J., Ruziyev B.X., Shakarboev E.B. Janubiy O'zbekiston sudralib yuruvchilari sestodalari (Cestoda, Rudolphi, 1809) faunasi // QarDU xabarлари. – Qarshi, 2022. 6/1 (56). – 112-116 b.
7. Шакарбоев Э.Б., Камилова Ш.И., Кучбоев А.Э., Азимов Д.А., Кучарова И.Ш. Биоценотические связи змей и их гельминтов в Центральной Азии // Узбекск. биол. ж. – Ташкент, 2000. – №4. – С. 46-53.
8. Yangiboyev M. Qashqadaryo viloyat geografiyasi // O'quv-uslubiy qo'llanma. – Qarshi, 1993. – 30 b.
9. Macpherson C.N., Torgenson P.R. Dogs and cestode zoonoses // Dogs, zoonoses and public health, 2013. – P. 127-152.
10. Sharpilo V.P., Biserkov V.A., Kostadinova J., Behnke M., Kuzmin Y.I. Helminths of the sand lizard, *Lacerta agilis* (Reptilia, Lacertidae), in the Palearctic: faunal diversity and spatial patterns of variation in the composition and structure of component communities // Parasitology, 2001. -Vol.123(4). – P.389-400.

QASHQADARYO SHAROITIGA INTRODUKSIYA QILINGAN *SPIRAEA* L. NAVLARINING FENOLOGIYASI

Berdiyev Mirtemir Fahriddinovich

Qarshi davlat universiteti doktoranti

mirtemir01554@gmail.com

ORCID ORCID 0009-0006-8878-8235

Yoziyev Lutfulla Habibullayevich

Qarshi davlat universiteti Botanika kafedrası professori

yoziyevl@mail.ru

ORCID 0000-0001-8209-3535

UDK 581.142:635.92.05

Annotatsiya. Maqolada Qashqadaryo sharoitiga introduksiya qilingan *Spiraea* L. navlarining fenologiyasini o'rganish natijalari keltirilgan. Tadqiqot obyekti sifatida Qarshi shahriga introduksiya qilingan *Spiraea×cinerea* 'Grefsheim', *Spiraea×vanhouttei* (Briot) Zabel va Shaxrisabz shahriga introduksiya qilingan *S. nipponica* 'June Bride', *S. nipponica* 'Snowmound', *Spiraea×cinerea* 'Grefsheim' navlari tanlangan. *S. nipponica* 'June Bride', *S. nipponica* 'Snowmound' navlari Qashqadaryo sharoitida barcha asosiy fenologik fazalarni, *Spiraea×vanhouttei* (Briot) 'Zabel' esa gullash fazasini muvaffaqiyatli o'taydi, ularda yozning stress omillaridan zararlanish belgilari kuzatilmaydi. O'zbekistonning janubiy viloyatlari shaharlarini ko'kalamzorlashtirishda mahalliy sharoitga chidamli va yuqori darajada manzarali butalar sifatida bu navlardan keng foydalanish tavsiya etiladi. Vegetatsiyasini erta boshlab, mo'l gullaydigan *Spiraea×cinerea* 'Grefsheim' navini yozning issiq va quruq sharoitiga bardoshini oshirish masalalarini tadqiq etish maqsadga muvofiq deb topilgan.

Kalit soʻzlar: introduksiya, *Spiraea*, nav, fenologiya, vegetatsiya, gullash, mevalash, issiq, qurgʻoqchilik.

PHENOLOGY OF *SPIRAEA* L. VARIETIES INTRODUCED IN KASHKADARYA

Abstract. The article presents the results of the study of the phenology of the varieties of the genus *Spiraea* L., introduced in the conditions of Kashkadarya. The objects of the study were *Spiraea*×*cinerea* 'Grefsheim', *Spiraea*×*vanhouttei* (Briot) 'Zabel', introduced in the city of Karshi, and *S. nipponica* 'June Bride', *S. nipponica* 'Snowmound', *Spiraea*×*cinerea* 'Grefsheim', introduced in the city of Shakhrisabz. The varieties *S. nipponica* 'June Bride', *S. nipponica* 'Snowmound' successfully pass all the main phenological phases in the conditions of Kashkadarya, and *Spiraea*×*vanhouttei* (Briot) 'Zabel' successfully pass the flowering phase, while they do not show signs of damage by summer stress factors. It is recommended to widely use these varieties in landscaping of cities in the southern regions of Uzbekistan as shrubs resistant to local conditions and highly decorative. It is considered appropriate to study the issues of increasing the resistance of the abundantly and early flowering variety *Spiraea*×*cinerea* 'Grefsheim' to hot and dry summer conditions.

Keywords: introduction, *Spiraea*, variety, phenology, vegetation, flowering, fruiting, heat, drought.

Kirish. Fenologiya oʻsimliklarning atrof-muhit sharoitlariga moslashuvini belgilaydigan eng muhim koʻrsatkichlardan biridir. Bu usul introduksiya qilingan turlarning yangi sharoitlarda yashashi va moslashish darajasini baholash imkonini beradi [1]. Introdutsentlar ustida fenologik kuzatuvlarni olib borish landshaft arxitekturasida koʻkalamzorlashtirish tadbirlarini muvaffaqiyatli rejalashtirish uchun xizmat qiladi [2].

Global isish va urbanizatsiya sharoitida introduksiya qilingan manzarali oʻsimliklarning moslashish qobiliyatini oʻrganish, ayniqsa, dolzarbdir. Rosaceae oilasi vakillari xilma-xilligi va manzaralilik xususiyatlari boʻyicha dunyo florasida yetakchi oʻrinlardan birini egallaydi. Oila daraxt, buta va otsimon hayotiy shakllarga ega bilan ifodalangan 3000 dan ortiq turlarni birlashtiradi, ularning koʻpchiligi manzaraliligi, uzoq gullashi, chiroyli mevalari va barglari tufayli koʻkalamzorlashtirishda keng qoʻllaniladi [3].

Ular orasida *Spiraea* L. turkumi vakillari oʻta manzaraliligi, alohida parvarish talab qilmasligi va shahar sharoitiga chidamliligi tufayli muhim oʻrin tutadi. Oʻzbekistonning janubiy viloyatlarini, xususan, Qarshi va Shakhrisabz shaharlarini koʻkalamzorlashtirishda *Spiraea* L. navlari istiqbolli hisoblanadi.

Spiraea barg toʻkuvchi buta hayotiy shaklidagi 80 dan 100 gacha turlarni oʻz ichiga oladi. Shimoliy yarim sharining moʻtadil va subtropik zonalarida keng tarqalgan. Bu turkum vakillarining 70 ga yaqini (47 tasi endem) Xitoy hududida oʻsadi [4, 5]. Turkum navlari turli iqlim sharoitlarida moʻl va davomli gullashi, shox-shabbalarining shakli va qurgʻoqchil iqlimga moslashish darajasi bilan bir-biridan farq qiladi. Ammo, bizga maʼlum boʻlgan ilmiy manbaalarda Oʻzbekiston janubining issiq kontinental iqlimida bu navlarning mavsumiy rivojlanishi haqida hech qanday maʼlumot yoʻq. Shu bilan birga, fenologik kuzatishlar ularning iqlimga moslashish darajasini baholashga, manzaralilik davrlarini aniqlashga va mahalliy iqlim omillariga eng chidamli navlarni tanlashga imkon beradi.

Qashqadaryo viloyati sharoitiga introduksiya qilingan Rosaceae oilasiga mansub *Spiraea* navlarining fenologik xususiyatlarini oʻrganish ularning yangi iqlim sharoitiga moslashganligi, oʻsishi, rivojlanishi va chidamliligini baholash imkoniyatini beradi. Shunga koʻra, Qashqadaryo viloyatining Qarshi va Shakhrisabz shaharlariga introduksiya qilingan *Spiraea* navlarining oʻsishi va rivojlanishining fenologik fazalarini oʻrganish, fenologik fazalarning rivojlanishiga iqlim omillarining taʼsirini baholash, oʻrganilgan navlarning fenologik xususiyatlarini qiyosiy tahlil qilish muhim ahamiyatga ega.

Ushbu tadqiqot Qarshi va Shakhrisabz shaharlarida introduksiya qilingan *Spirea* turkumiga mansub uchta navda asosiy fenologik fazalarning oʻtish xususiyatlarini oʻrganishga bagʻishlangan. Olingan maʼlumotlardan koʻkalamzorlashtirish ishlarini rejalashtirishda, bogʻdorchilikda va boshqa hududlarga introduksiya qilishga doir tadqiqotlarda foydalanish mumkin.

Materiallar va metodlar. Fenologik kuzatuvlar 2023–2024-yillarda Qashqadaryo viloyatining ikkita: Qarshi va Shahrisabz shaharlarida o'tkazildi. Tadqiqot obyekti sifatida quyidagi navlar tanlangan: Qarshi shahriga introdutsiya qilingan *Spiraea* × *cinerea* 'Grefsheim', *Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) Zabel va Shahrisabz shahriga introduksiya qilingan *Spiraea nipponica* 'June Bride', *Spiraea nipponica* 'Snowmound', *Spiraea* × *cinerea* 'Grefsheim'.

Barcha o'simliklar o'xshash tuproq sharoitlari bo'lgan ochiq maydonlarga (yengil qumoq tuproqli), yetarli darajada quyosh tushadigan joylarda ekilgan. O'simliklar shu navlar uchun tavsiya qilingan agrotexnologiya bo'yicha parvarishlandi [6].

Qashqadaryo viloyatining Qarshi va Shahrisabz shaharlari tarixiy ahamiyati, iqlimi va iqtisodiy xususiyatlari bilan ajralib turadigan O'zbekiston janubi uchun muhim markazlardan hisoblanadi. Qarshida yozda harorat ayrim yillari 45°C va undan yuqori bo'lgani holda, Shahrisabzda maksimal 37-38 °C bilan cheklanishi mumkin. Har ikki shaharda qish nisbatan yumshoq, ammo Qarshida harorat pastroq bo'lib, o'rtacha – 1,6°C ni, Shahrisabzda esa o'rtacha – 0,3°C ni tashkil qiladi. Qarshi shahriga qishda (yanvarda 27-56 mm) Shahrisabzga (7-22 mm) nisbatan ko'proq yog'in tushadi. Har ikki shaharda yozda yog'ingarchilik deyarli kuzatilmaydi, ammo Shahrisabzda iyul va avgust oylarida yil mobaynidagi eng minimal yog'in yog'ishi mumkin.

Tadqiqot obyektlarining vegetatsiya davrida rivojlanishining mavsumiy fazalarini o'zgarishi tizimli ravishda kuzatib borildi. Kuzatishlar faol vegetatsiya davrida (martdan noyabrgacha) har 3-5 kunda amalga oshirildi. Olingan ma'lumotlarning ishonchli bo'lishi uchun har bir uchastkada har bir nav uchun kamida 5 ta o'simlik o'rganildi. Fenologik fazalar sifatida kurtaklarning bo'rtishi, barglarning hosil bo'lishi, gullashning boshlanishi, yalpi gullash, gullashning yakunlanishi, mevalarning hosil bo'lishi, mevalarning yetilishi, barglar rangining o'zgarishi, xazonrezgilik sanalari kabilar qayd qilib borildi. Har bir fazaning davomiyligi, faza boshlanishigacha bo'lgan davr haroratining o'rtacha ko'rsatkichi aniqlandi, rivojlanish fazalarning boshlanishi, davomiyligi bo'yicha farqlar navlar, shuningdek, yillar kesimida qiyoslandi. *Spiraea* × *cinerea* 'Grefsheim' navining mavsumiy rivojlanish maromi har ikkala shaharda o'rganilib, qiyoslandi. Olingan natijalar jadval va grafik shaklida ifodalandi, boshqa sharoitda olingan natijalar bilan qiyoslandi.

Natija va muhokama. Qarshi va Shahrisabz shaharlarida 2023-2024-yillar davomida *Spiraea* navlarida fenologik fazalarning o'tishini kuzatish natijasida fazalarning boshlanishi vaqtlaridagi aniq farqlar va har bir navning mahalliy iqlimga moslashish xususiyatlari aniqlandi.

Spiraea nipponica 'June Bride' da kurtaklarning bo'rtishi 2023-yilda 12-martda, barglarning yozilishi 17 martda, g'unchalash 5-apreldan boshlandi. Gullash 13-apreldan boshlanib, 27 kun davom etdi. Mevalash fazasi 4-maydan boshlandi. Barglarning sarg'ayishi 28-oktabrdan boshlandi, xazonrezgilik 13-noyabrda tugadi. 2024-yilda esa kurtaklarning bo'rtishi 27-martdan, barglarning yozilishi 2-apreldan, g'unchalash 12-apreldan boshlandi. Gullash 2023-yilga nisbatan 1 hafta kechikdi va 2 kun uzoq (29 kun) davom etdi, mevalashning boshlanishi 10 kunga kechikdi. Barglarning sarg'ayishi 29-oktabrdan boshlandi, xazonrezgilik 16-noyabrda tugadi.

Har ikkala yilda *S.nipponica* 'Snowmound' navi fenologik fazalari boshlanishi va davomiyligi 'June Bride' naviniki singari kechdi. Bu holat Moskva sharoitida olingan ma'lumotlarga mos keldi [7]. Tadqiqot yillari mobaynida har ikkala nav Shahrisabzda yozning issiq va quruq sharoitidan zararlanmadi.

Spiraea × *cinerea* 'Grefsheim' uchun vegetatsiya va gullash boshlanishining eng oldingi sanalari qayd etilgan bo'lib, bu boshqa mintaqalarda, masalan, Markaziy Yevropa va Janubiy Rossiya sharoitida olingan ma'lumotlarga mos keladi [8]. Qarshi shahrida 2023-yilda uning gulkurtaklari 14-fevraldanoq bo'rta boshladi (jadval). G'unchalash 27-fevraldan, gullash esa 4-martdan boshlandi. Gullash 20 kun davom etib, 24-martda yakunlandi. Yoppasiga gullash 14 kunni tashkil etdi. Barglari 18-martdan yozila boshladi.

11-oktabrdan barglarining rangi sargʻayib, 3-noyabrgacha toʻkilib ketdi. 2024-yilda kurtaklarning boʻrtishni 2023-yilga nisbatan 30 kun kech boshlandi. Barglari 29 kun kech yozila boshladi. Gʻunchalash 20-martdan, gullash esa 24-martdan boshlandi (17 kun kech). Gullash 26 kun davom etib, 19-aprelda yakunlandi. Yoppasiga gullash 20 kunni tashkil etdi. Kuz oylari 12-oktabrdan barglari sargʻaya boshladi va 10-noyabrgacha toʻkilib ketdi.

Qarshi va Shahrisabz sharoitida *Spiraea* × *cinerea* 'Grefsheim' barcha fenologik fazalarni oʻtay olmadi. Vegetatsiya va gullashning boshlanishida kichik farqlar kuzatildi (1–4 kun). Bu fazalar Shahrisabzda biroz kechroq boshlandi.

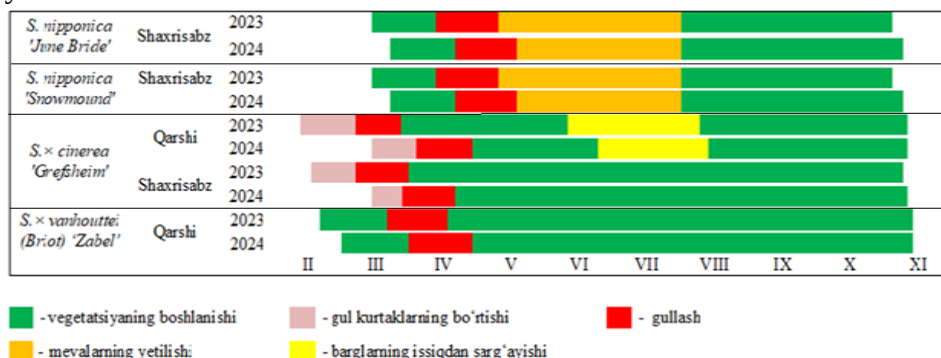
Jadval

Spiraea navlarining Qashqadaryo sharoitida fenologiyasi

Fenologik fazalar	S. <i>nipponica</i> 'June Bride'		S. <i>nipponica</i> 'Snowmoun d'		S. × <i>cinerea</i> 'Grefsheim'				S. × <i>vanhouttei</i> (Briot) 'Zabel'	
	202 3	202 4	202 3	202 4	2023		2024		202 3	2024
	Shaxrisabz		Shaxrisabz		Qars hi	Shaxrisa bz	Qars hi	Shaxrisa bz	Qarshi	
Vegetatsiyaning boshlanishi	12.0 3	27. 03	12.0 3	27.0 3	14.02	18.02	13.03	14.03	21. 02	01.03
Gullashni boshlanishi	13.0 4	20. 04	13.0 4	20.0 4	04.03	07.03	22.03	24.03	20. 03	01.04
Gullashni tugashi	09.0 5	18. 05	09.0 5	18.0 5	24.03	29.03	15.04	19.03	13. 04	27.04
Gullash davomiyligi, kun	27	29	27	29	20	22	24	26	24	28
Mevalash	04.0 5	13. 05	04.0 5	13.0 5	-	-	-	-	-	-
Xazonrezglik	13.1 1	16. 11	13.1 1	16.1 1	03.11	09.11	05.11	10.11	12. 11	13.11
Vegetatsiya davri, kun	246	234	246	234	262	264	237	241	264	258

Tadqiqot oʻtkazilgan yillar mobaynida bu navning gullash fazasi tugagandan soʻng barglar hosil boʻlishi va novdalar oʻsa boshlashi kuzatildi. Ammo, Qarshi shahri sharoitida may, Shahrisabzda iyun oyi oxiridan oʻsish toʻxtadi. Yozning issiq va quruq sharoitida barglar kuyib, oʻsimlik manzaraliligini yoʻqotdi. Qarshi sharoitida manzaraliligi tiklanmadi, Shahrisabz sharoitida avgust oyidan yangi novdalar oʻsa boshladi va oʻsimlik

manzaraliligini qisman tikladi. Qarshi va Shaxrisabz o'rtasida bu farqlar o'rganilayotgan hududlarning mikroiqlim xususiyatlari bilan bog'liq. Shaxrisabz dengiz sathidan 622 m balandlikda joylashgan va atrofi ikki tomondan tog'lar bilan o'ralgan. Qarshi esa 374 m balandlikda, cho'l mintaqasida joylashgan Shaxrisabzning bunday joylashuvi bahorgi havo haroratining biroz salqinlashishiga olib keladi, bu esa o'simliklarning o'sishi va gullashining biroz kechikishiga sabab bo'ladi. Shunga qaramay, fenologik fazalarning umumiy tabiati o'xshashligicha qoldi, bu navning issiqqa bardoshsiz ekanligini tasdiqlaydi.



Rasm. *Spiraea* navlarining Qashqadaryo sharoitida fenospektri

Spiraea × *vanhouttei* (Briot) 'Zabel' Qarshi shahrida vegetatsiyasini 2023-yilda 21-fevraldan, barglari bir hafta o'tib yozilishni boshlandi. Gullash mos ravishda 20-martda boshlanib, 13-aprelda tugadi (24 kun). 12-oktabrdan xazonrezgilik boshlandi. Ushbu navning 2024-yildagi vegetatsiyasi 7 kun, gullashi 11 kun kechikib boshlandi. Ammo gullash davomiyligi 4 kunga farq qildi (28 kun). Ushbu navning Qashqadaryo sharoitida mevalash fazasini o'tamasligini navga xos xususiyat ekanligi bilan izohlash mumkin [9]. Yozning issiq va quruq sharoitida *Spiraea* × *cinerea* 'Grefsheim'ga nisbatan ancha bardoshli ekanligini namoyon qildi. Har ikkala yilda hazonrezgilik deyarli bir xil vaqtda boshlandi.

Spiraea nipponica ning har ikkala navi hamda *Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) 'Zabel' eng davomli va eng manzarali gullashi bilan ajralib turdi. Bu navlar qurg'oqchilikka yuqori darajada bardoshli ekanligini ko'rsatdi.

Xulosa. Shunday qilib, o'rganilgan barcha navlar Qashqadaryo sharoitida har yili gullaydi, qishda sezilarli zararlanmaydi. *Spiraea nipponica* 'June Bride', *S. nipponica* 'Snowmound' navlari Qashqadaryo sharoitida barcha asosiy fenologik fazalarni, *Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) 'Zabel' esa gullash fazasini muvaffaqiyatli o'taydi. Bu ularning introduksiya sharoitidagi qurg'oqchil iqlimga yaxshi moslashganligini bildiradi. Suv resurslari cheklangan va yozda haddan tashqari yuqori harorat kuzatiladigan hududlar uchun ushbu xususiyat juda muhimdir. O'zbekistonning janubiy viloyatlari shaharlarini ko'kalamzorlashtirishda mahalliy sharoitga chidamli va o'ta manzarali butalar sifatida bu navlardan keng foydalanish tavsiya etiladi.

Boshqa navlarga nisbatan vegetatsiyasini erta boshlaydigan *Spiraea* × *cinerea* 'Grefsheim' navi mart oyining boshida bilan gullaydi, ammo yozdagi jazirama issiqdan zararlanishi tufayli har ikkala sharoitda ham meva hosil qilmaydi. Ushbu navni yozning issiq va quruq sharoitiga bardoshini oshirish masalalarini tadqiq etish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Паутова Н. В. Особенности фенологического развития и адаптации лиственницы сибирской в условиях европейского Северо-Востока // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. – №1-4.
2. Козловский Б., Куропятников М., Федоринова О. Фенология древесных интродуцентов Ботанического сада ЮФУ. – Litres, 2022.
3. Foltá K. M., Gardiner S. E. (ed.). Genetics and genomics of Rosaceae. – New York : Springer, 2009. – T. 6. – C. 411-506.
4. Wu ZhengYi W. Z. Y., Raven P. H., Hong DeYuan H. D. Y. Flora of China. Volume 9: Pittosporaceae through Connaraceae. – 2003. – 496 pp.

5. Wrońska-Pilarek D. et al. Pollen morphology and variability of native and alien, including invasive, species of the genus *Spiraea* L. (Rosaceae) in Poland // Plos one. – 2022. – T. 17. – №. 8. – С. e0273743.
6. Плотникова Л.С. Спирей: практическое пособие по выбору сортов, выращиванию, размножению, защите от болезней и вредителей / Л.С. Плотникова. – М.: Изд. дом МСП, 2004. – 42 с.
7. Крючкова В. А., Чернолих В. А. Анализ изменчивости морфологических признаков сортов Спирей nipponica (Spiraea nipponica maxim.) в условиях г. Москвы // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – С. 45.
8. Мажула О.С., Швиденко И.М. Использование различных видов и форм таваланика святильникового (*Spiraea* L.) в садово-парковых ландшафтах Харьковской области, 2019.
9. Kud Ela V. Inflorescence blast and flower bud abnormalities of *Spiraea x vanhouttei* and their causes // Czech journal of genetics and plant breeding. – 2007. – T. 43. – №. 4. – С. 135.

O'ZBEKISTONNING MARKAZIY HUDUDLARIDA *FERULA* L. TURKUMI ENDEM TURLARINING GEOFAZOVIY TARQALISHI VA KELIB CHIQISH MARKAZLARI

Jamalova Dilafruz Neʼmatilla qizi

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi botanika instituti
kichik ilmiy xodim

dilafruz.bel.91@mail.ru;

ORCID 0000-0003-2035-7560

Kurbaniyazova Gulsauir Tanirbergen qizi

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi botanika instituti
kichik ilmiy xodim

Karimov Baxtiyor Qurbon o'g'li

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi botanika instituti
kichik ilmiy xodim

Yusupov Ziyoviddin Olimjon o'g'li

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi botanika instituti
katta ilmiy xodim

UDK. 581.1

Annotatsiya. Ushbu maqolada *Ferula* turkumining O'zbekistonning markaziy hududlarida tarqalgan ayrim endem turlari – *F. helenae*, *F. nuratavica*, *F. pratovii* va *F. kyzylkumica* hamda ularga morfologik jihatdan yaqin bo'lgan qardosh turlarning fazoviy taqsimoti va kelib chiqish markazlari tahlil qilindi. Tadqiqotda GIS texnologiyalari asosida Kernel zichlik, Point zichlik, o'rtacha (mean), median markaz va dispersiya radiusi (standard distance) kabi metodlar qo'llanildi. Tahlil natijalari ushbu turlar uchun asosiy zichlik zonasi Nurota tizmasi atrofida joylashganini ko'rsatdi. Ushbu hudud *Ferula* turkumining ayrim endem turlari uchun ehtimoliy kelib chiqish markazi va turli ekologik sharoitlarga moslashuv joyi sifatida ajralib turadi. Tadqiqot natijalari biogeografik tahlillar, endemizm darajasini baholash va tabiatni muhofaza qilish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim manba bo'lib xizmat qiladi.

Kalit soʻzlar: *Ferula*, endemizm, geofazoviy tahlil, Kernel zichlik, kelib chiqish markazi, O'zbekiston

GEOSPATIAL DISTRIBUTION AND ORIGIN CENTERS OF ENDEMIC SPECIES OF THE GENUS *FERULA* L. IN THE CENTRAL REGIONS OF UZBEKISTAN

Abstract. This paper examines some endemic species of the genus *Ferula*, common in the central regions of Uzbekistan – *F. helenae*, *F. nuratavica*, *F. pratovii* and *F. kyzylkumica*. The spatial distribution and centers of origin of these species, as well as morphologically closely related species, were analyzed. The study used methods such as Kernel density, point density, Mean, mean center, and radius of dispersion (standard distance) based on GIS technologies. The analysis results showed that the main density zone for these species is concentrated around the Nuratau Ridge. This area stands out as a center of probable origin for some endemic species of the genus *Ferula* and a place of adaptation to various environmental conditions. The research results serve as an important resource for biogeographic analysis, assessment of endemism levels, and development of conservation strategies.

Keywords: *Ferula*, endemism, geospatial analysis, Kernel density, center of origin, Uzbekistan.

Kirish. O'zbekiston hududi, xususan, uning markaziy qismlari, geologik va ekologik jihatdan xilma-xil tuzilishga ega bo'lib, ko'plab endem o'simlik turlarining shakllanishi va saqlanishi uchun qulay sharoit yaratgan. Bunday hududlar qatoriga Nurota tizmasi, Qizilqum

cho'lining janubiy chekkalari va ularga tutash Zarafshon vodiysi kiradi. Bu mintaqalar turli ekologik gradientlarga ega bo'lib, o'simlik turlarining ekologik moslanishi va biogeografik tarqalishiga ta'sir qiluvchi muhim faktor hisoblanadi.

Ziradoshlar (Apiaceae) oilasi butun Markaziy Osiyoda keng tarqalgan va turlar soni jihatdan yetakchi oilalar qatoriga kiradi. Oila vakillari tarkibida efir moylari va kumarinlari uchun juda qadrlanadi, bu uni uy sharoitida ham, tibbiyotda ham qimmatli turlar sifatida aks ettiradi. *Ferula* L. turkumi oilaga kiruvchi turkumlar orasida uchinchi o'rinda turadi [7] va taxminan 170-180 turni o'z ichiga oladi [4]. Ushbu turlar asosan Markaziy va Janubi-g'arbiy Osiyoda joylashgan bo'lib, G'arbiy O'rta Yer dengizi mintaqasi orqali Shimoliy Afrikaga tarqaladi, ularning asosiy tarqalish markazlari Eron va Afg'onistondir [3].

Turkumga mansub turlar morfologiyasining o'xshashligi va keng tarqalishi tufayli *Ferula* turkumi taksonomik jihatdan eng murakkab turkumlardan biri sifatida tan olingan. Turli xil vakillari asrlar davomida ko'plab mamlakatlarda dorivor o'simliklar sifatida foydalanib kelingan [1]. Ularning metabolitlari viruslarga, yallig'lanishga, o'smaga, yaraga, diabetga qarshi, antibakterial, sitotoksik, estrogenik va antiprotozoal xususiyatlarni o'z ichiga olgan keng ko'lamli biologik faollikni namoyon etadi [6,8]. Ba'zi qimmatli dorivor turlarga *F. foetida*, *F. kuhistanica*, *F. oopoda*, *F. tenuisecta* va *F. varia* kiradi [2,5]. *Ferula* turkumi turlari, shuningdek, kumarin hosilalari, seskviterpen birikmalar, gumulen, germakren birikmalari, aromatik laktonlar va disulfid birikmalari kabi biologik faol birikmalarga boy [8].

Ferula turkumining O'zbekistonda qariyb 50 ga yaqin turi tarqalgan bo'lib, ularning aksariyati Eron-Turon floristik provinsiyasiga xos elementlardir. Ayniqsa, *Ferula helenae* Rakhm. & Melibaev, *Ferula nuratavica* Pimenov, *Ferula pratovii* F.O.Khasanov & I.I.Maltsev va *Ferula kyzylkumica* Korovin kabi turlar O'zbekistonning markaziy hududlariga xos bo'lgan endem vakillar sanaladi. Bu turlar tarqalishi va ularning morfologik jihatdan yaqin qardosh turlar bilan bo'lgan aloqadorligi ularning kelib chiqish markazlarini aniqlash, evolyutsion jarayonlarni tushunish va muhofaza strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

So'nggi yillarda fazoviy statistik usullar va GIS texnologiyalaridan foydalanish orqali o'simlik turlarining geografik tarqalishi, zichlik darajalari, areal markazlari va dispersiyasi haqida chuqur tahlillar olib borish imkoniyati yaratildi. Bunday yondashuvlar yordamida turlar tarqalishining umumiy tuzilmasi, ekologik nishalari va ehtimoliy kelib chiqish hududlari aniqlanadi.

Ushbu maqolada *Ferula* turkumining yuqorida tilga olingan endemik turlari hamda ularga morfologik jihatdan yaqin qardosh turlarning O'zbekistonning markaziy hududlarida tarqalishiga oid geofazoviy tahlillar amalga oshirildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi – ushbu turlar tarqalishining statistik markazlarini, zichlik zonalarini va ularning biogeografik ahamiyatini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu tadqiqotda *Ferula helenae*, *F. nuratavica*, *F. pratovii* va *F. kyzylkumica* kabi endem turlar va ularga yaqin bo'lgan qardosh turlarni o'z ichiga olgan 40 dan ortiq joylashuv nuqtalaridan iborat koordinatalar to'plami ishlatildi. Natijalar dala tadqiqotlari orqali to'plangan va mavjud floristik manbaalar bilan solishtirilib tasdiqlangan. Geofazoviy tahlillarni amalga oshirish uchun **ArcGIS 10.8** dasturiy ta'minotidan foydalanildi. Quyidagi statistik va fazoviy metodlar qo'llanildi:

➤ **Kernel Density (yadro zichlik tahlili):** Tur joylashuvlarining umumiy zichlik darajasini aniqlash uchun ishlatildi. Ushbu metod orqali turlar eng ko'p yig'ilgan hududlar aniqlanib, ehtimoliy kelib chiqish markazlari belgilandi [9].

➤ **O'rtacha markaz (Mean Center), Median markaz (Median Center) va Dispersiya radiusi (Standard Distance):** Turlar tarqalishining markaziy koordinatalari (arifmetik va median markaz), shuningdek dispersiya darajasini aniqlash uchun qo'llanildi. Bu metod turlar arealining markazi va tarqalish radiusini baholash imkonini beradi [10].

➤ **Point Density (nuqtaviy zichlik tahlili):** Har bir kvadrat km. maydonga to'g'ri kelgan turlar soni hisoblab chiqilib, areal bo'yicha zichlik taqsimoti tahlil qilindi. Bu metod ko'p tur bir hududda to'plangan zonalarini ajratib ko'rsatadi [11].

➤ **O'rtacha markaz (Mean Center)** - barcha koordinatalarning o'rtacha qiymatiga asoslanadi (ya'ni x , y). Har bir nuqta og'irliksiz yoki og'irlik bilan (agar mavjud bo'lsa) hisobga olinadi. U matematik jihatdan oddiy o'rtacha nuqtani beradi. Noaniq taqsimlangan yoki chekka nuqталarga sezgir bo'ladi.

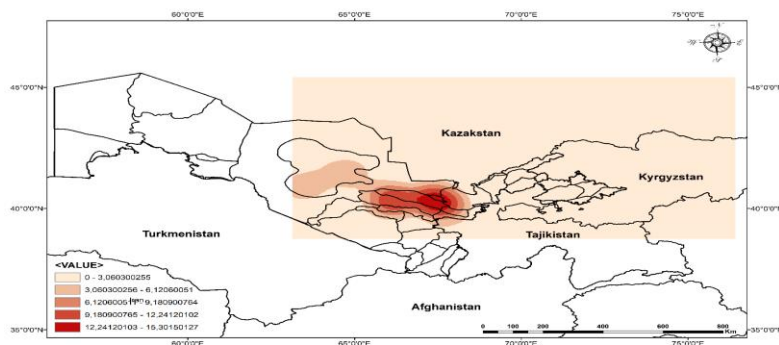
➤ **Median markaz (Median Center)** - bu barcha nuqtalargacha bo'lgan masofalar yig'indisini minimallashtiradigan markaz. Ya'ni, bu nuqtadan barcha boshqa nuqtalargacha bo'lgan masofalarning yig'indisi minimal bo'ladi. Chekka (outlier) nuqtalarga kam sezgir, shuning uchun ma'lumotlar simmetrik bo'lmagan holatdagisi afzal. Statistik jihatdan "Barqarorroq" markaz hisoblanadi.

Tahlil natijalari xarita shaklida vizual tarzda ifodalangan bo'lib, ular orqali biogeografik markazlar va tarqalish yo'nalishlari aniqlandi.

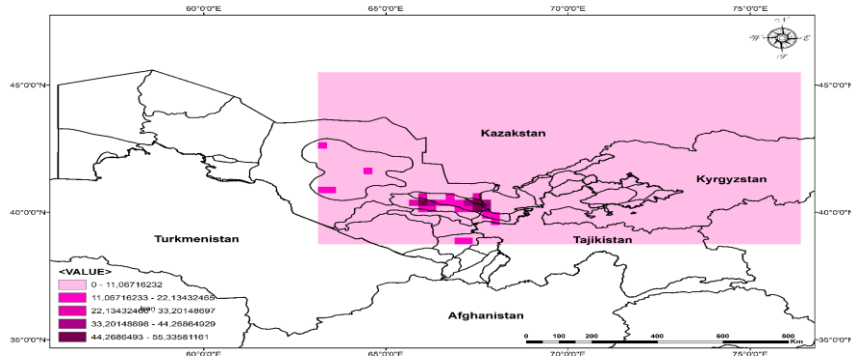
Natijalar va muhokama. Ushbu tadqiqotda *F. helenae*, *F. nuratavica*, *F. pratovii* va *F. kyzylkumica* kabi endem turlar va ularga morfologik jihatdan yaqin bo'lgan qardosh turlar asosida bir nechta fazoviy statistik tahlillar amalga oshirildi. Xaritalar orqali tur taqsimotining markazlari, zichlik darajalari va tarqalishning yo'nalishlari aniqlashtirildi.

Kernel zichlik tahlili natijalariga ko'ra, turlar joylashuvining maksimal zichlik zonasi Nurota tizmasi va uning atrofida qayd etilgan (qiymatlar 12.24–15.35 oralig'ida). Bu hudud *Ferula* turlarining kelib chiqish markazi (center of origin) yoki endemizm markazi bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Zichlik pasaygan sari rang och jigarrangdan to quyuq qizil tusga o'zgaradi. Zichlik darajasining kamayishi Qizilqumning janubi, Zarafshon vodiysi va Tojikiston chegaralarigacha davom etadi. Bu turlar tarqalishining ekologik diffuziya yo'nalishlarini aks ettiradi (1-rasm).

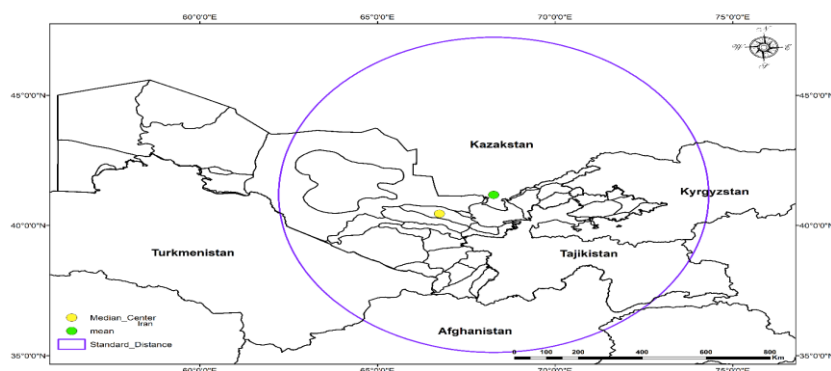
Point Density tahlili turli maydonlarda qayd etilgan turlar soniga asoslanib, ularning fazoviy zichligini ko'rsatadi. Xaritada eng yuqori zichlik qiymatlari (44.26–55.33) yana Nurota tizmasi va unga tutash hududlarda aniqlangan. Bu esa bir nechta tur aynan shu hududda to'planganini tasdiqlaydi. Tahlil natijalari Nurota tizmasini nafaqat turlar kelib chiqish nuqtasi, balki ko'p turli biogeografik hotspot sifatida ham ko'rsatadi. Past zichlikka ega zonalar, masalan, shimoliy Qizilqum, Tojikiston chegarasi va Qashqadaryo tomonlar, turlar sonining kamayganini yoki ma'lumotlarning yetarli emasligini bildiradi. Bu ma'lumotlar potensial eksploratsiya ehtiyoji mavjud bo'lgan zonalarini belgilaydi (2-rasm).



1-rasm. *Ferula* turkumining endem va qardosh turlari asosida tuzilgan Kernel zichlik tahlili xaritasi



2-rasm. *Ferula* turkumining endem va qardosh turlari asosida tuzilgan Point Density (nuqtaviy zichlik) xaritasi



3-rasm. *Ferula turkumina* ning endem va qardosh turlari asosida tuzilgan o'rtacha, median markazlari va dispersiya radiuslar ko'rsatkichlari xaritasi

Ushbu xaritada uchta asosiy fazoviy ko'rsatkich tasvirlangan:

- **Mean Center** – barcha nuqtalarning arifmetik o'rtacha koordinatasi.
- **Median Center** – joylashuv nuqtalarining mediani.
- **Standard Distance** – dispersiya radiusi (tarqalish darajasi).

Median markazi Nurota tizmasiga yaqin joylashgan bo'lib, bu hudud turlar sonining eng ko'p to'plangan hududi ekanligini ko'rsatadi. O'rtacha markaz esa biroz sharqqa siljigan, bu ayrim turlar yoki qardosh namunalarning Tojikiston va Qirg'iziston tomonida ham tarqalganligini bildiradi. Dispersiya radiuslar doirasi katta maydonni qamrab olgan bo'lib, turlar keng geografik diapazonda tarqalganligini ko'rsatadi. Bu esa *Ferula* turlarining yuqori darajadagi ekologik moslashuvchanligi va biogeografik xilma-xilligi mavjudligiga ishora qiladi (3-rasm).

Xulosa va takliflar. O'zbekistonning markaziy hududlarida tarqalgan *F. helenae*, *F. nuratavica*, *F. pratovii* va *F. kyzylkumica* kabi endem turlar hamda ularning qardosh turlari bo'yicha amalga oshirilgan fazoviy tahlillar ushbu turlar tarqalishining umumiy tuzilmasini va kelib chiqish markazlarini aniqlashga imkon berdi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, Kernel va Point tahlillari asosida turlar zichligining maksimal darajasi Nurota tizmasi va unga tutash hududlarda kuzatildi. Bu hudud *Ferula* turkumining ayrim endem turlari uchun ehtimoliy kelib chiqish va diversifikatsiya markazi sifatida ajralib turadi.

O'rtacha va Median markazlar ham Nurota yaqinida joylashgani bu hududning turlar yig'ilishi nuqtayi nazaridan markaziy o'rinda ekanligini tasdiqlaydi. Dispersiya radiusi esa ushbu turlar tarqalishining keng maydonni qamrab olganligini ko'rsatadi, bu esa ekologik moslashuvchanlik va biogeografik xilma-xillik darajasining yuqoriligi bilan bog'liq.

Ushbu tadqiqot natijalari O'zbekiston hududida *Ferula* turkumining endemik vakillarini muhofaza qilish, ularga oid ekologik monitoring ishlarini yo'lga qo'yish va biogeografik zonallashuv bo'yicha ilmiy asos yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ahmed A. A. et al. Ferulsinaic acid, a sesquiterpene coumarin with a rare carbon skeleton from *Ferula* species // *Phytochemistry*. – 2007. – T. 68. – №. 5. – C. 680-686.
2. Karimi G. et al. Screening of acetylcholinesterase inhibitory activity of terpenoid and coumarin derivatives from the genus *Ferula* // *Pharmacologyonline*. – 2010. – T. 1. – C. 566-574.
3. Mozaffarian V. The family of Umbelliferae in Iran: keys and distribution. – Research Organization of Agriculture and Natural Resources, 1983. pp. 114-116.
4. Pimenov M. G., Leonov M. V. The Asian Umbelliferae biodiversity database (ASIUM) with particular reference to South-West Asian taxa // *Turkish Journal of Botany*. – 2004. – T. 28. – №. 1. – C. 139-145.
5. Saidkhodzhaev A. I. et al. Terpenoid Coumarins of *Ferula lipskvi* and *F. vicaria* // *Chemistry of Natural Compounds*. – 1991. – T. 27. – №. 2. – C. 242-243.
6. Soltani S. et al. Sulfur-containing compounds from the roots of *Ferula latsecta* and their cytotoxic activities // *Fitoterapia*. – 2018. – T. 124. – C. 108-112.

7. Yaqoob U., Nawchoo I. A. Distribution and taxonomy of *Ferula* L.: A review //Res. Rev. J. Bot. – 2016. – T. 5. – №. 3. – C. 15-23.
8. Zhou Y. et al. Recent advances on bioactive constituents in *Ferula* //Drug development research. – 2017. – T. 78. – №. 7. – C. 321-331.
9. ESRI. *How Kernel Density works*. ArcGIS Pro Documentation. Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>
10. ESRI. *Measuring Geographic Distributions*. ArcGIS Pro Documentation. Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-mean-center.htm>
11. ESRI. *How Point Density works*. ArcGIS Pro Documentation. Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-point-density-works.htm>

KATTA VA KICHIK O'RADARYO HAVZALARI FLORASINING KAMYOBLILIK DARAJALARI BO'YICHA TAHLILIGA DOIR

Omonov Oybek Eshmirzayevich

Qarshi davlat universiteti tayanch doktoranti

omonovoybek1985@mail.ru

ORCID 0009-0000-7145-3419

UDK 581.93

Annotatsiya. Maqolada Katta va Kichik O'radaryo havzalarida tadqiqot olib borgan olimlar tomonidan to'plangan, O'zbekiston Milliy gerbariysi (TASH) fondida saqlanayotgan va dala tadqiqotlarida terilgan gerbariy namunalari asosida tahlili keltirilgan. Shuningdek, gerbariyning qo'llanilishi va uning o'simliklarning biologik xilmaxilligini saqlashdagi ahamiyati qisqacha tavsiflangan. Tadqiqot natijasida hudud florasini uchun "O'zbekiston Respublikasi Qizil kitobi" hamda "Xalqaro Qizil kitob" asosida shakllantirilgan ro'yxatga muvofiq 19 oila 37 turkumga mansub 59 turni 290 ta gerbariy namunasini o'z ichiga oladi. Bulardan, 3 oila 5 turkumga mansub 5 ta tur "Xalqaro Qizil kitob"ga kiritilgan. Yuqorida keltirilgan turlardan 6 oila 11 turkum 17 turining 73 ta namunasi endem turlardir. Ushbu tadqiqot O'zR FA Botanika institutining Janubi-G'arbiy Hisor, Hisor-Darvoz va Panjoldi okruglari florasining to'rt tizimli xaritalash (Surxondaryo viloyati qismi) davlat dasturi hamda tadqiqotchining dissertatsiya mavzusi doirasida bajarildi.

Kalit so'zlar: Katta O'radaryo, Kichik O'radaryo, Qizil kitob, endem, oila, turkum, tur, gerbariy, ekspeditsiya.

ON THE ANALYSIS OF THE FLORA OF THE GREAT AND SMALL ORADARYO BASINS IN TERMS OF RARENESS DEGREES

Abstract. The article presents an analysis of herbarium specimens collected by scientists conducting research in the Katta and Kichik O'radarya basins and stored in the National Herbarium of Uzbekistan (TASH) and collected during field research. The use of herbariums and their importance in preserving plant biodiversity are also briefly described. As a result of the study, the flora of the region includes 290 herbarium specimens of 59 species belonging to 19 families and 37 orders, according to the list formed on the basis of the "Red Book of the Republic of Uzbekistan" and the "International Red Book". Of these, 5 species belonging to 3 families and 5 orders are included in the "International Red Book". Of the above species, 73 specimens of 17 species from 6 families and 11 orders are endemic. The flora list contains at least one herbarium number for plant species collected and identified in this area for the Katta and Kichik O'radarya basins. This study was carried out within the framework of the state program of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan on the network systematic mapping of the flora of the South-Western Hissar, Hissar-Darvoz and Panjoldi districts (part of the Surkhondaryo region) and the topic of the researcher's dissertation.

Keywords: Katta Uradarya, Kichik Oradarya, Red Book, endemic, family, order, species, herbarium, expedition

Kirish. Gerbariy noyob va yo'qolib ketish xavfi ostida turgan o'simliklar xilmaxilligini saqlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi [1]. Gerbariy turli ekotizimlardan olingan o'simliklar namunalardan tashkil topgan namunalar to'plami hisoblanadi. U ma'lum bir joyning florasini tavsiflaydi. Shuningdek bioxilma-xillikni saqlash borasida ilmiy va amaliy tadqiqotlar olib borish hamda mavjud mintaqa florasini haqidagi bilimlarni o'rganish va o'rgatish vositasidir.

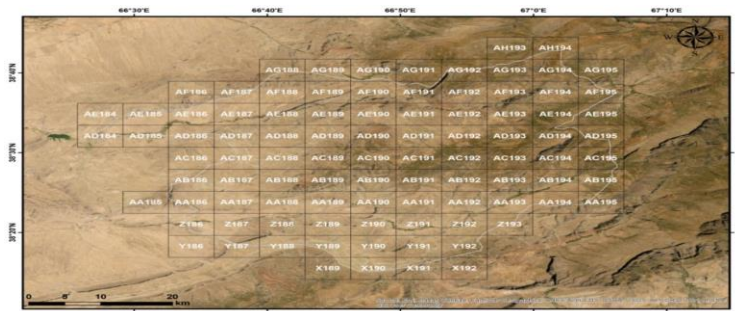
Qashqadaryoning oxirgi chap irmog'i G'uzordaryodir (uzunligi 86 km, suv yig'iladigan havzasining maydoni 3170 km²). G'uzordaryoni Katta O'radaryo va Kichik O'radaryo hosil qiladi. Katta O'radaryo (uzunligi 113 km, suv yig'adigan havzasining

maydoni 1400 km²) Chaqchar va Yakkabog' tog'lari tutashadigan Xarkush dovoni (3448 m) yaqinida boshlanadi va yuqori oqimida Egrisuv nomi bilan ataladi. Katta O'radaryo deyarli butunlay tog'lar orasida oqib o'tadi va tor vodiya ega, uning Qizilsoy, Almatsoy, Zarangbuloq, Sho'rsuv va boshqa irmoqlari bor.

Kichik O'radaryoning uzunligi 93 km, suv yig'iladigan havzasining maydoni 1588 km² bo'lib, Hisor tizmasining janubi-g'arbiy tarmoqlaridan 2500-2700 m balandlikdan boshlanadi. Kichik O'radaryoning yirikroq irmoqlarini Shirindaryo (17 km), Qoradahana (25 km), Go'rota (20 km) va boshqalar hosil qiladi. Qorasuv daryosi (G'uzordaryoning quyi oqimi) Qashqadaryoga quyiladigan eng so'nggi irmoqdir. Qashqadaryoning o'ng sohilidagi irmoqlar (soylar) Qoratepa tog'larining janubiy yonbag'irlaridan boshlanadi, bu yerda 18 ta yirik va ko'plab mayda soylar oqadi [2]. Katta va Kichik O'radaryolari suv resurslaridan samarali foydalanish maqsadida ularning oqimida o'tgan asrning 80-yillarida Pachkamar suv omborini barpo etilishi ushbu daryolar suvini G'uzordaryoga quyilishini chekladi. Bu esa G'uzordaryo havzasi florasiga o'zining salbiy ta'sirini qo'rsatdi.

Endem turlar muhofaza qilinishi jihatdan yuqori ustuvorlikka ega, chunki ular geografik jihatdan cheklangan hududlarga xos. Ko'pincha ekologik jihatdan kamdan-kam uchraydigan har qanday noqulay o'zgarish ularning tezda yo'q bo'lib ketishiga olib kelishi mumkin [3]. K.Sh Tojibaev va boshqalar (2022) ma'lumotlariga ko'ra, Surxondaryo viloyatida endem o'simliklarning 20 oila 35 turkum 63 turi tarqalgan [4]. So'nggi yillarda O'zbekiston hududining floristik tarkibini o'rganishga qaratilgan tadqiqotlar yangi zamonaviy metodlarni qo'llash orqali olib borilmoqda. Xususan, respublika hududi 5×5 km. li to'r tizimli xarita orqali 19240 indeksga bo'lingan. [5]. Kelgusida ushbu indeksning tur tarkibi aniqlanib, to'r tizimli xaritasi tuziladi.

Tadqiqot obyekti, metodlari va materiallari. Tadqiqot hududi Katta O'radaryo va Kichik O'radaryo havzasi O'zbekistonning botanik-geografik rayonlashtirish sxemasiga ko'ra, G'arbiy-Hisor okrugining Qashqadaryo botanik-geografik rayoniga kiradi [5]. Adabiyotlar tahliliga ko'ra, mazkur hududga yaqin hududlarda ko'plab tadqiqotlar olib borilgan bo'lsada, ushbu daryolar havzalari maqsadli ravishda flora tarkibi o'rganilmaganligini ko'rsatdi. Katta va Kichik O'radaryo havzalari flora tarkibi shakllantirilmagan (1-rasm). Tadqiqot hududi O'zbekistonning botanik-geografik rayonlashtirish sxemasi [5] bo'yicha, turlarning geolokatsiyalarini aniqlash Google EarthPro (2019), MAPS.ME dasturlari asosida, dala tadqiqotlarini amalga oshirish A.I. Tolmachev [6], A.V. Sherbakov, C.R.Mayorov [7] tomonidan ishlab chiqilgan metodlardan foydalanildi. O'zbekiston tabiiy florasining to'r tizimli xaritasi ArcGIS version 10.6.1 dasturida yaratildi. Xaritalarni yaratishda WGC 1984 (World Geodetic System 1984) proyeksiyasi ishlatildi. Tadqiqot obyekti sifatida Qashqadaryo viloyatida Katta va Kichik O'radaryo havzalarida tarqalgan endem turlar tanlab olindi. Endem turlarning nomlari va taksonlarning qabul qilingan nomlari POWO (Plants of the World Online, 2023), IPNI (International Plant Names Index, 2023) ma'lumotlar bazalari asosida keltirildi [8, 9].



1-rasm. Katta va Kichik O'radaryolari havzasi florasining to'r tizimli xaritasi

Kamyob va endem turlarning maqomlari va tarqalishi O'zbekiston Qizil kitobi (2019) bo'yicha olindi [10].

Tadqiqot materiallari mazkur tadqiqot hududi va unga yaqin hududlarda olib

borilgan dissertatsiyalar va ilmiy manbalardan iborat. Shuningdek, 11 jildli “Определитель растений Средней Азии” [11; 1963-2015], 6 jildli “Флора Узбекистана” [12; 1941-1962] va 30 jildli “Флора СССР” [13; 1934-1964] asarlaridan foydalanildi. O‘zbekiston Milliy gerbariysi (TASH) fondida saqlanayotgan gerbariylar va dala tadqiqotlarida yig‘ilgan gerbariylar.

Floraning zamonaviy konspektini shakllantirishda hamda ularni tahlilini amalga oshirishda, kollektorlar tomonidan terilgan materiallar tahlili muhim ahamiyatga ega. O‘zbekiston Milliy gerbariysi (TASH) fondida saqlanayotgan namunalar shuni ko‘rsatadiki, Katta va Kichik O‘radaryolari hududida qator geobotanik tadqiqotlar olib borilgan. Quyida, tadqiqot hududidagi asosiy kollektorlar tahlili keltirilgan (1-jadval).

Hududda olib borilgan botanik tadqiqotlar. Katta va Kichik O‘radaryo havzalarida olimlar hamda biz tomonimizdan olib borilgan tadqiqotlarni yillar kesimida tahlil qilganimizda, tadqiqotlar 1913-2024-yillar mobaynida olib borilgan.

Dastlabki tadqiqotlar *Heliotropium bucharicum* B.Fedtsch. (7052) B.A.Fedchenko (1913) va *Moluccella bucharica* (B.Fedtsch.) Ryding (1141) I. Bornmuller (1913) bo‘lsa, so‘nggi tadqiqotlar esa *Triaenophora bucharica* B.Fedtsch. (sn) Omonov (2023) Bu turni bundan dastlab A.Granitov (1931), (616) Kichik O‘radaryo havzasidan va A.Butkov (1937) (89), Katta O‘radaryo havzasidan tergan bo‘lib, bizni tadqiqotlarimiz davomida esa bu tur Katta O‘radaryo havzasi Dehqonobod tumani Bozortepa qishlog‘i atroflaridan terildi (uzunlik 66, 927793, kenglik 38, 241322 X192 indeksda dengiz sathidan 1621 metr va (uzunlik 66,742276, kenglik 38,262212 X189 indeksda dengiz sathidan 1516 metr balandlik) larda 2 ta namunasi terildi. Bu tur har ikkala daryo havzalarida ham uchrashi qayd etildi.

O‘zbekiston Milliy gerbariy ma’lumotlaridan shuni aytish mumkinki, hudud bo‘yicha dastlabki Lipskiy (1897) va so‘nggi Turginov (2022) tadqiqotlar olib borilgan. Bu vaqtda eng ko‘p tur va gerbariy namunalarini tergan olimlardan A.Pyatayeva (1942-1980) 201 tur 495 ta namuna, E.Korotkova (1935-1972) 85 tur 143 namuna, A.Arnold (1942) 85 tur 114 namuna, S.N.Kudryashev (1935-941) 53 tur 67 namuna, M.G.Popov (1914-1916) 49 tur 62 namuna, A. Gnezdillo (1935) 42 tur 61 namuna, A. Li, B. Niyazov (1950-1959) 39 tur 62 namuna, N.Koshurnikova (1941-1956) 37 tur 43 namuna, O.Turginovlar (2011-2022) tomonidan 28 turga mansub 42 ta gerbariy namunalarini tergan [14].

Quyida biz hududda kamyob va endem turlar bo‘yicha olib borilgan va hozirda davom etayotgan tadqiqotlarimiz davomida yig‘ilgan materiallar asosida tahlilini keltirib o‘tamiz. (1-jadval)

1- jadval

Tadqiqot hududidan terilgan kamyob turlarning gerbariylar tahliliga ko‘ra asosiy kollektorlar

№	Kollektor	Yillar	Tur soni	Gerbariy soni
1	I.Bornmyuller	1913	1	1
2	A. Gnezdillo	1935	13	20
3	A.Granitov	1931-1937	8	11
4	A.Butkov	1933-1972	7	10
5	V.Bochansev	1936-1985	10	13
6	E.Korotkova	1947-1972	8	14
7	A.Pyatayeva	1954-1980	11	14
8	M.G.Pimenov	1971-1979	7	12
9	O.Turginov	2012-2023	6	15
10	A.Abdiraimov	2018-2019	12	16
11	O.Omonov	2022-2024	14	44

Jadvaldagi ma’lumotlardan shuni aytish mumkinki, hudud bo‘yicha dastlabki I.Bornmyuller (1913) va so‘nggi Omonov (2024) tomonidan tadqiqotlar olib borilgan. Bu vaqtda eng ko‘p tur va gerbariy namunalarini tergan olimlardan O.Omonov (2022-2024) 14 tur 44 ta namuna, A.Gnezdillo (1935) 13 tur 20 namuna, A.Abdiraimov (2018-2019) 12 tur 16 namuna, A.Pyatayeva (1954-1980) 11 tur 14 namuna va V.Bochansev (1936-

1985) 10 tur 13 namunalari terilgan. (2-jadval)

Olingan natijalar va ularning tahlili.

2- jadval

Katta va Kichik O'radaryo havzalari florasining oilalar bo'yicha tahlili

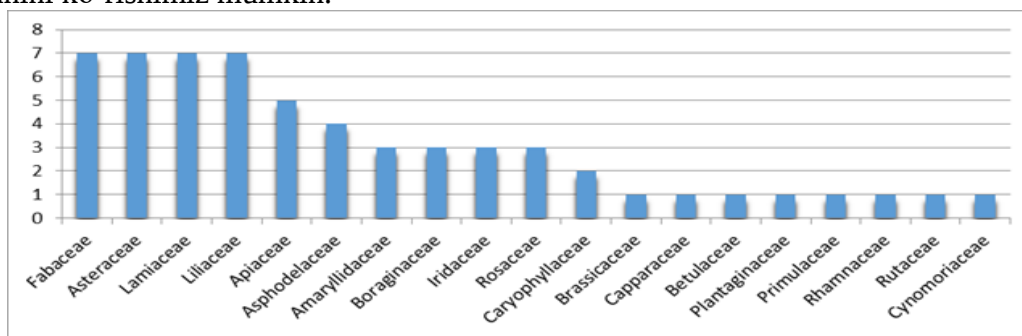
№	Oilalar	Turkum	% da	Turlar	% da	Namunalar	% da
1.	Amaryllidaceae J.St.-Hil.	1	2,7	3	5,08	7	2,41
2.	Apiaceae Lindl.	3	8,1	5	8,47	9	3,1
3.	Asphodelaceae Juss.	1	2,7	4	6,77	9	3,1
4.	Asteraceae Bercht. & J.Presl	3	8,1	7	11,86	29	10
5.	Betulaceae Gray	1	2,7	1	1,69	6	2,06
6.	Boraginaceae Juss.	3	8,1	3	5,08	21	7,24
7.	Brassicaceae Burnett	1	2,7	1	1,69	3	1,03
8.	Capparaceae Juss.	1	2,7	1	1,69	23	7,93
9.	Caryophyllaceae Juss.	2	5,4	2	3,38	9	3,1
10.	Cynomoriaceae Endl. ex Lindl.	1	2,7	1	1,69	1	0,34
11.	Fabaceae Lindl.	5	13,51	7	11,86	44	15,17
12.	Iridaceae Juss.	2	5,4	3	5,08	17	5,86
13.	Lamiaceae Martinov	5	13,51	7	11,86	46	15,86
14.	Liliaceae Juss.	1	2,7	7	11,86	27	9,31
15.	Plantaginaceae Juss.	1	2,7	1	1,69	16	5,51
16.	Primulaceae Batsch ex Borkh.	1	2,7	1	1,69	1	0,34
17.	Rhamnaceae Juss.	1	2,7	1	1,69	1	0,34
18.	Rosaceae Juss.	3	8,1	3	5,08	15	5,17
19.	Rutaceae Juss.	1	2,7	1	1,69	6	2,06
Jami		37	100%	59	100%	290	100%

Ushbu tahlildan ko'rinib turibdiki, turkumlar bo'yicha yetakchilikni, Fabaceae, Lamiaceae oilalari 5 ta 13,51% ni tashkil etgan bo'lsa, quyi pog'onada esa Amaryllidaceae, Asphodelaceae, Betulaceae, Brassicaceae, Capparaceae, Cynomoriaceae, Liliaceae, Plantaginaceae, Primulaceae, Rhamnaceae va Rutaceae oilasi vakillari 1 tadan turkum bilan 2, 63%ni tashkil etmoqda.

Turlar bo'yicha keltirilgan tahlilda Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Liliaceae oilasi 7 tur 11, 86% bilan yetakchilik qilayotgan bo'lsa, quyi o'rinlarda esa Betulaceae, Capparaceae, Cynomoriaceae, Brassicaceae, Plantaginaceae, Primulaceae, Rhamnaceae va Rutaceae oilasi vakillari 1 tadan turni o'z ichiga olib 1,69 % ni tashkil etganini ko'rishimiz mumkin va buni diagramma ko'rinishida ham keltirib o'tdik. (2-rasm)

Gerbariy namunalari bo'yicha amalga oshirayotgan tahlilimizda Lamiaceae 46 ta 15,86%, Fabaceae oilasi 44 ta 15,17% bilan yetakchilik qilayotgan bo'lsa, Cynomoriaceae, Primulaceae va Rhamnaceae oilasi vakillari esa 1 tadan tur bilan 0,34% ni tashkil etmoqda.

Bundan ko'rinib turibdiki, keltirilgan 3 ta tahlilimizda Fabaceae va Lamiaceae oilasi vakillari yetakchi turgan bo'lsa, Cynomoriaceae, Primulaceae va Rhamnaceae oilasi vakillari esa yuqorida keltirilgan 3 ta tahlilimizda ham eng past ko'rsatkichni tashkil qilganini ko'rishimiz mumkin.



2-rasm. Hudud florasining Qizil kitobga kiritilgan yetakchi polimorf oilalar bo'yicha tahlili
Quyida O'radaryo havzasi florasining birlamchi ro'yxati keltirilgan. Bu yerda oilalar

qora rangda oldida tartib raqami bilan, keyin turkumlar ular ham tartib raqam bilan, keyin shu turkumlarga mansub turlar qavslar ichida va gerbariy fondidagi raqami bilan keltirilgan. Ayrim turlardan gerbariyalar ko'p bo'lgani uchun faqat bittasi keltirilgan.

Katta va Kichik O'radaryo havzalari florasining "Qizil kitob"ga kiritilgan turlar ro'yxati

1. Liliaceae Juss.

1. Tulipa (*T. lanata* Regel (235), *T. ingens* Hoog (271), *T. fosteriana* W.Irving (1650), *T. carinata* Vved. (sn), *T. undulatifolia* var. *melchiana* (Hoog) Wilford. (58), *T. korolkowii* Regel (69), *T. uzbekistanica* Botschantz. & Sharipov (134)).

2. Amaryllidaceae J.St.-Hil.

2. Allium L. (*A. majus* Vved. (747), *A. giganteum* Regel (sn), *A. botschantzevii* Kamelin (sn)).

3. Iridaceae Juss.

3. Iris Tourn. ex L. (*I. magnifica* Vved. (468), *I. svetlanae* (Vved.) T.Hall & Seisums)). 4. Gladiolus Tourn. ex L. (*G. italicus* Mill. (2500)).

4. Betulaceae Gray.

5. Betula L. (*B. tianschanica* Rupr. (1967)).

5. Caryophyllaceae Juss.

6. Acanthophyllum C.A.Mey. (*A. gypsophiloides* Regel (1232). 7. Dianthus L. (*D. uzbekistanicus* Lincz. (71)).

6. Capparaceae Juss.

8. Cleome L. (*C. gordjagini* Popov (717)).

7. Brassicaceae Burnett.

9. Crambe L. (*C. gordjagini* Sprygin & Popov (181)).

8. Rosaceae Juss.

10. Pyrus L. (*P. korshinskyi* Litv. (487)). 11. Malus Mill. (*M. domestica* (Suckow) Borkh. (38)). 12. Prunus L. (*P. bucharica* (Korsh.) Hand.-Mazz. (200)).

9. Fabaceae Lindl.

13. Calispepla Vved. (*C. aegacanthoides* Vved. (3075)). 14. Chesneya Lindl. (*Ch. tribuloides* Nevski (76)). 15. Astragalus L. (*A. terrae-rubrae* Butkov (sn), *A. bucharicus* Regel (2441)). 16. Eversmannia Bunge (*E. botschantzevii* Sarkisova (sn)). 17. Hedysarum L. (*H. magnificum* Kudr. (686), *H. bucharicum* B.Fedtsch. (11)).

10. Rutaceae Juss.

18. Haplophyllum Rchb. (*H. bucharicum* Litv. (60)).

11. Plantaginaceae Juss. (Scrophulariaceae)

19. Spirostegia Ivanina (*S. bucharica* (B. Fedtsch.) Ivanina (sn)).

12. Rhamnaceae Juss.

20. Zizyphus Mill. (*Z. jujuba* Mill. (sn)).

13. Cynomoriaceae Endl. ex Lindl.

21. Cynomorium L. (*C. coccineum* L. (sn)).

14. Apiaceae Lindl.

22. Paulita Soják (*P. ovczinnikovii* (Korovin) Soják (581)). 23. Zeravschania Korovin (*Z. regeliana* Korovin) (300)). 24. Ferula Tourn. ex L. (*F. tuberifera* Korovin (sn)), *F. fedtschenkoana* Koso-Pol. (408)), *F. sumbul* (Kauffm.) Hook.f. (1741)).

15. Primulaceae Batsch ex Borkh.

25. Dionysia Fenzl (*D. hissarica* Lipsky (0251)).

16. Boraginaceae Juss.

26. Heliotropium Tourn. ex L. (*H. bucharicum* B.Fedtsch. (541)). 27. Onosma L. (*O. macrorhiza* Popov) (882)). 28. Nonea Medik. (*N. calceolaris* Nikif. & Pazij) (45)).

17. Lamiaceae Martinov

29. Scutellaria L. (*S. colpodea* Nevski (93)), *S. fedtschenkoi* Bornm. (603), *S.*

guttata Nevski ex Juz. (162)). 30. *Dracocephalum* L. (*D. formosum* Gontsch.) (sn). 31. *Phlomis* Moench (*P. gypsacea* (Popov) Adylov, Kamelin & Makhm.) (69). 32. *Otostegia* Benth. (*O. bucharica* B. Fedtsch.) (1141)). 33. *Salvia* L. (*S. lilacinocoerulea* Nevski) (23)).

18. Asteraceae Bercht. & J.Presl

34. *Cousinia* Cass. (*C. campylaraphis* Tschern. (257), *C. spryginii* Kult. (938), *C. allolepis* Tscherneva & Vved. (210)). 35. *Jurinea* Cass. (*J. gracilis* Iljin) (512), *J. psammophila* Iljin (sn), *J. sangardensis* Iljin (48)). 36. *Tanacetopsis* (Tzvelev) Kovalevsk. (*T. botschantzevii* (Kovalevsk.) Kovalevsk.) (5).

19. Asphodelaceae Juss.

37. *Eremurus* M.Bieb. (*E. aitchisonii* Baker) (413), *E. robustus* (Regel) Regel (sn), *E. alberti* Regel (sn), *E. luteus* Baker (340)).

Ushbu tahlildan ko'rinib turibdiki, "O'zbekiston Respublikasi Qizil kitobi"ga mansub 19 oila 37 turkumga mansub 59 ta turning 20 ta namunasi borligini ko'rishimiz mumkin. Bulardan, 3 oila 5 turkum ga mansub 5 ta tur "Xalqaro Qizil kitob"ga kiritilgan bo'lib, bu turlarning gerbariy namunasi 23 tani tashkil etmoqda. Yuqorida keltirilgan turlardan 6 oila 11 turkum 17 turining 73 ta namunasi endem turlardir.

Quyida biz Katta va Kichik O'radaryo havzalari florasining "O'zbekiston Respublikasi Qizil kitobi" (2019) ga kiritilgan o'simliklarining hayotiy shakllari bo'yicha tahlilini keltirib o'tamiz.

3-jadval

Kamyob turlarning hayotiy shakllar bo'yicha tahlili

Hayotiy shakllar	Oilalar	% da	Turkumlar	% da	Turlar	% da	Namunalar	% da
Fanerofitlar	4	16,66	7	17,94	7	11,86	24	8,27
Xamefitlar	2	8,33	3	7,69	4	6,77	49	16,89
Gemikripto fitlar	13	54,16	23	58,97	42	71,18	150	51,72
Kriptofitlar	1	4,16	1	2,56	1	1,69	16	5,51
Terofitlar	4	16,66	5	12,82	5	8,47	51	17,58
Jami	24	100	39	100	59	100	290	100

Ushbu tahlildan ko'rinib turibdiki, oilalar kesimida tahlil qilganimizda gemikriptofitlar soni 13 ta (54,16%) ni tashkil etib yetakchilik qilayotgan bo'lsa, eng past ko'rsatkich bilan xamefitlar va kriptofitlar soni esa 2 tadan bo'lib (8%) ni tashkil etmoqda. Turkumlar kesimida tahlil qilganimizda gemikriptofitlar soni 23 ta (58,97%) ni tashkil etib yetakchilik qilayotgan bo'lsa, eng past ko'rsatkich, kriptofitlar esa 1 ta (2,56%) ni tashkil etmoqda. Turlar bo'yicha tahlil qilganimizda ham gemikriptofitlar soni 42 ta (71,18%) ni tashkil etib yetakchilik qilayotgan bo'lsa, eng quyi o'rinda esa kriptofitlar 1 ta (1,69%) ni tashkil etganini ko'rishimiz mumkin. Bundan ko'rinib turibdiki, Raunkiye tasnifi bo'yicha keltirgan tahlilimizda turkum va turlarning asosiy yetakchiligi gemikriptofitlarga tegishli bo'lib, quyi pog'onada esa kriptofitlarni ko'rishimiz mumkin. Yuqorida keltirilgan uchta tahlildan ham ko'rinib turibdiki, xudud florasining asosiy qismini gemikriptofitlar egallagan bo'lsa, kriptofitlar esa quyi o'rinni egalladi.

Shunday qilib hayotiy shakllar bo'yicha keltirgan tahlilimizda 24 oila 39 turkumga mansub 59 tur borligini ko'rishimiz mumkin.

Dastlabki maqolalarda keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra tadqiqot hududi dendroflorasi 19 oila 29 turkumga mansub 66 turdan iborat bo'lib, ularning 26 tasi daraxt, 40 tasi buta hayotiy shakliga mansub. Toksonimik tarkibga ko'ra Rosaceae oilasiga mansub turlar 23 tani tashkil etib, umumiy dendrofloraning 35 % ni tashkil etadi. Keyingi o'rinlarda Ephedraceae Dumort, Caprifoliaceae va Salicaceae, oilalarida 4 tadan tur bo'lsa, Cannabaceae, Vitaceae va Betulaceae oilalarida esa 1 tadan tur mavjudligi qayd qilindi. Bundan ko'rinib turibdiki, Qashqadaryo botanik-geografik rayoni janubi-g'arbiy qismi dendroflorasi tur tarkibi, tarqalishi, yashash muhiti tahlil qilinganda, mazkur

hududda janubi-gʻarbiy Hisor florasiga xos boʻlgan turlarni shakllanishi va tarqalishi hamda dendroflorani saqlanib qolishi uchun qulay sharoit mavjudligini koʻrsatdi [15].

Quyida Qashqadaryo viloyati Qashqadaryo botanik-geografik rayoni hududi Katta va Kichik Oʻradaryo havzalarida 2022-2024-yillarda olib borilgan hudud florasini oʻrganishga qaratilgan dala tadqiqotlari davomida Oʻzbekiston Qizil kitobi (2019)ga kiritilgan ayrim turlarning aniqlangan yangi oʻsish joylari va yangi gerbariy namunalari terilgan turlar roʻyxati keltirilgan.

Maqomlar (Status) boʻyicha amalga oshirgan tahlilimiz esa quyidagicha koʻrinishga ega boʻldi.

0. Yoʻqolgan yoki yoʻqolib ketganligi ehtimoldan yiroq emas. Bu maqomda 1 ta oila 1 turkum 1 ta tur 1 ta namuna;

1. Yoʻqolib ketish arafasida turgan. Bu maqomdada 8 ta oila 12 turkum 14 ta tur 109 ta namuna;

2. Kamyob. Bu maqomda 12 ta oila 19 turkum 24 ta tur 66 ta namuna;

3. Son jihatdan kamayib borayotgan. Bu maqomda 10 ta oila 18 turkum 28 ta tur 93 ta namuna borligini koʻrishimiz mumkin.

Bu tahlildan koʻrinib turibdiki, son jihatdan kamayib borayotgan maqomdagi turlar yetakchi boʻlsa, yoʻqolgan yoki yoʻqolib ketganligi ehtimoldan yiroq emas maqomda keltirilgan turlar esa kam sonni tashkil etmoqda.

***Tulipa carinata* Vved.** (Liliaceae) OʻzQK. Maqomi 3. Pomir-Oloyning janubi-gʻarbidagi kamyob endemik oʻsimlik [16].

Botanik tavsifi. Boʻyi 15–50 sm orasidagi koʻp yillik piyozli oʻt. Piyoz tuxumsimon, diametri 1,5–4 sm, qobigʻi charmsimon qora qoʻngʻir rangli, ichki tomoni qalin tukli. Barglari 3–4 ta. Guli yakka, qizil yoki pushti rang. Gulining tubi sariq yoki xiraroq sariq. Changchi iplari qora, changdoni qora yoki qizgʻish, baʼzan sariq. May-iyunda gullab, mevasi iyul-avgust oylarida yetiladi.

Tarqalishi. Surxondaryo va Qashqadaryo viloyatlari: Koʻhitang, Boysun va Choʻlbayir togʻlari, Hisor tizmasida (Toʻpalang, Sangardak, Katta Oʻradaryo havzasi) tarqalgan. Tojikiston va Turkmanistonda ham uchraydi [16].

Dala tadqiqotlari davomida ushbu turning tadqiqot hududining ayrim joylarida avval qayd etilmagan (gerbariy namunalari terilmagan) Katta Oʻradaryo havzasida yangi oʻsish joyi aniqlandi, gerbariy namunalari terildi va TASH fondiga topshirildi.

Yangi oʻsish joylari. Гиссарский хребет, басс. р. Katta Uradarya, окр. с. Nayman (N 38.606003 E 66.789632). 28.03.2023, h=1066 metr, AF190 indeks, Omonov (sn).



3-rasm. *Tulipa carinata* Vved. (Katta Oʻradaryo havzasi Nayman qishlogʻi)

***Pyrus korshinskyi* Litv.** (Rosaceae) XalqaroQK. Maqomi IUCN Red List CR B2ab(iii,v).

Botanik tavsifi. Tojlari sharsimon yoyilgan yoki choʻzilgan, tikanlarsiz, katta, oval, toʻmtoq kurtaklari va zich paxmoq tarozilari boʻlgan daraxt. Bir yillik yosh kurtaklar zich oq-momiq, ikki yillik kurtaklari jigarrang-kulrang. Barglari nayzasimon yoki choʻzilgan lansetsimon, tilsimon, uzunligi 5-10 sm, pastki qismida eng katta, yumaloq kamdan-kam hollarda keng xanjarsimon, asta-sekin toraygan, choʻqqisida choʻzilgan, qirrasimon tishsimon, tishlari boʻylab kalozsimon yoki qalinlashgan, pastda tishsimon yoki yaltiroq,

yalong‘och zich yosh oq-momiq. Gullarning diametri 2-2,5 sm, barglari cho‘zilgan – oval, qisqa tirnoqli. Mevalari keng nok shaklida, yashil, yashil-sariq, bir tekis rangli yoki qizarib ketgan. May oyida gullaydi, avgust-sentabrda meva beradi. O‘rta tog‘ zonasida, shuningdek, baland tog‘ etaklarida odatda juda siyrak chakalakzorlar va ko‘pincha namunalar holida uchraydi.

Tarqalishi: Qashqadaryo (Hisor tizmasi: Yuqori Oqsuv daryosi) va Surxondaryo (Boysun) viloyatlari. O‘rta Osiyo (G‘arbiy Tyanshan, Pomir-Oloy) [16].

Yangi o‘sinh joylari. Hisor tizmasi, Kichik O‘radaryo havzasi Dehqonobod tumani Qo‘g‘a qishlog‘ining shimoli-sharqiy qismi, Qoplondara (N 38.438913, E 66.831294). h=1777 metr, AB191 indeks, 12.08.2023, Omonov (487 (TASH)).



4-rasm. *Pyrus korshinskyi* Litv. (Kichik O‘radaryo havzasi Dehqonobod tumani Qo‘g‘a qishlog‘i)

Dala tadqiqotlari davomida ushbu turning Hisor tizmasida avval qayd etilmagan (gerbariy namunalari terilmagan) Katta O‘radaryo havzasida yangi o‘sinh joylari aniqlandi, gerbariy namunalari terildi va TASH fondiga topshirildi.

Xulosa. Hudud florasida “O‘zbekiston Respublikasi Qizil kitobi”ga mansub 19 oila 37 turkumga mansub 59 ta tur borligini ko‘rishimiz mumkin. Bulardan, 3 oila 5 turkumga mansub 5 ta tur “Xalqaro Qizil kitob”ga kiritilgan. Yuqorida keltirilgan turlardan 6 oila 11 turkum 17 turining 73 ta namunasi endem turlardir. Hayotiy shakllar bo‘yicha keltirgan tahlilimizda 24 oila 39 turkumga mansub 59 tur borligini qayd etildi. Qashqadaryo BGR hududiga kiruvchi Katta O‘radaryo havzasi florasini o‘rganishga qaratilgan dala tadqiqotlari natijasida viloyatda O‘zbekiston Qizil kitobiga (2019) kiritilgan *Tulipa carinata* Vved. va *Pyrus korshinskyi* Litv. bo‘yicha olingan natijalar O‘zbekiston Qizil kitobning navbatdagi nashrini tayyorlashda, turlarning tarqalishi va senopopulyatsiyalarini o‘rganishda muhim manba bo‘lib xizmat qiladi.

Mazkur tadqiqot Botanika institutining “O‘zbekiston florasining polimorf o‘simliklar oilalarini taksonomik reviziyasi” (FZ-20200929321) loyihasi va Janubi-G‘arbiy Hisor, Hisor-Darvoz va Panjoldi okruglari florasining to‘r tizimli xaritalash (Qashqadaryo viloyati qismi) davlat dasturi doirasida bajarildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Омонов О.Э. О‘radaryo havzasi florasining dastlabki ro‘yxati (O‘zbekiston Milliy gerbariy fondi gerbariysi asosida). QarDU xabarлари. – Qarshi, 2024, 2/4. 185-195-b.
2. Ярашев Қ.С. Жанубий Ўзбекистон дарё хавзалари ландшафтларининг функционал-динамик боғликлиги ҳамда уларни ландшафт-экологик районлаштириш: Геог. фан. докт. дисс. (DSc). – Самарқанд, 2022. – 243 б.
3. Callmender M.W., Schatz G.E., Lowry P.P. II. IUCN red list assessment and the global strategy for plant conservation: Taxonomists must act now // Taxon. 2008. 54(4): 1047-1050.
4. Tojibaev K., Khassanov F., Turginov O., Akbarov F., Pulatov S., Turdiboev O. Endemic plant species richness of Surkhondaryo province, Uzbekistan // Plant Diversity of Central Asia. 2022. Vol. 1. – Pp. 71-84.
5. Тожибаев К.Ш., Бешко Н.Ю., Попов В.А. Ботанико-географическое районирование Узбекистана // Ботанический журнал. – Санкт-Петербург: Наука, 2016. – №10 (101). – С. 1105-1130.
6. Толмачев А.И. Введение в географию растений. – Л.: ЛГУ, 1974. – 244 с.
7. Щербаков А.В., Майоров С.Р. Инвентаризация флоры и основы гербарного дела (Методически Флора сосудистых растений с рекомендациями). – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – С. 48.
8. IPNI (2023). International Plant Names Index. Published on the Internet <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium.

[Retrieved 25 July 2023].

9. POWO (2023). "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; Retrieved 29 July 2023.

10. O'zbekiston Respublikasi Qizil kitobi. – Toshkent: "Chinor ENK", 2019. T. – 329 b.

11. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. В I-X. Т. – Ташкент: Фан, 1968-2016.

12. Флора Узбекистана. В 6 т. – Ташкент: изд. АН УзССР, 1941-1963.

13. Флора ССР. В 30 т. М.Л.: изд. АН СССР, 1934-1960 г.

14. Омонов О.Э. Катта ва Кичик Ўрадарё хавзаси флора ва ўсимликлар копламининг ўрганилиш тарихи. QarDU xabarлари.- Qarshi, 2024, 2/2., 154-160-betlar.

15. Байсунов Б.Х., Омонов О.Э., Бухоров Ж. Qashqadaryo botanik-geografik rayoni janubi-g'arbiy qismi (Xontaxta tog' massiv) dendroflorasi. "Замонавий географияда инновацион ғоялар: рақамли иктисодиёт ва гис технологиялар" мавзусидаги Халқаро ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to'plami. I qism. – Qarshi, 2024. 15-17-б.

16. Флора ССР. В 9 т. - М.Л.: изд. АН СССР, 1939 г. С- 273.

17. Халқаро Қизил китоб (The IUCN Red List of Threatened species)

OLCHA (PRUNUS CERASUS L.) NEMATODAFUNA SINING TURLAR TARKIBI VA BIOTOPLAR BO'YICHA TARQALISH XUSUSIYATLARI

Nurmatova Dilnoza Mustafokulovna

Samarqand davlat universiteti mustaqil izlanuvchisi

dilnozanurmatovabio90@gmail.com

Mavlyanov Ochil

Samarqand davlat universiteti

Zoologiya kafedrası professori, b.f.d.

ochilmavlyanov@mail.ru

Narzullayev Sardor Baxriddinovich

Samarqand davlat universiteti

zoologiya kafedrası dotsenti, PhD.

narzullayevsardorbek1990@gmail.com

ORCID 0009-0005-1766-8335

УДК 632.2.01

Annotatsiya. Mazkur maqolada Samarqand viloyatida tashkil etilgan intensiv olcha (*Prunus cerasus* L.) bog'lari nematoda faunasi haqida ma'lumotlar keltirilgan. Tadqiqot materiallari 2023-2024-yillar davomida viloyatning Bulung'ur, Jomboy, Samarqand, Oqdaryo, Tayloq va Urgut tumanlari hududlaridagi intensiv olcha bog'laridan yig'ilgan. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida 67 turga mansub nematodalar aniqlanib, ular sistematik jihatdan tahlil qilindi. Qayd etilgan turlar Nematodalar tipining 3 ta sinfi (*Enoplea*, *Dorylaimea*, *Chromadorea*), 7 turkumi (*Alaimida*, *Triplonchida*, *Tripylida*, *Dorylaimida*, *Mononchida*, *Rhabditida*, *Panagrolaimida*) va 36 avlodiga mansub bo'lishi aniqlandi. Olcha nematodafaunasidagi turkumlar orasida *Panagrolaimida* turkumi yaqqol ustunlik qilgan bo'lsa, avlodlar orasida *Prismatolaimus*, *Diphtherophora*, *Eudorylaimus*, *Rhabditis*, *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Pratylenchus* va *Hoplolaimus* avlodlarining nisbatan keng tarqalganligi ma'lum bo'ldi. Shuningdek, tadqiqotlarda nematodalarning biotoplar bo'yicha tarqalish darajasi ham tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Intensiv bog'lar, olcha, *Prunus cerasus*, nematoda, biotop, *Panagrolaimida*, tuproq

SPECIES COMPOSITION AND DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF THE NEMATODE FAUNA OF CHERRY (PRUNUS CERASUS L.) ACROSS DIFFERENT BIOTOPES

Abstract. This article presents data on the nematode fauna of intensive cherry orchards (*Prunus cerasus* L.) established in the Samarkand region. Research materials were collected during 2023–2024 from intensive cherry orchards located in the districts of Bulungur, Jomboy, Samarkand, Oqdaryo, Tayloq, and Urgut. As a result of the conducted studies, 67 nematode species were identified and analyzed from a systematic perspective. It was established that the recorded species belong to three classes of the phylum Nematoda (*Enoplea*, *Dorylaimea*, *Chromadorea*), seven orders (*Alaimida*, *Triplonchida*, *Tripylida*, *Dorylaimida*, *Mononchida*, *Rhabditida*, *Panagrolaimida*), and 36 genera. Among the nematode orders identified in cherry orchards, *Panagrolaimida* was the most dominant, while the genera *Prismatolaimus*, *Diphtherophora*, *Eudorylaimus*, *Rhabditis*, *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Pratylenchus*, and *Hoplolaimus* were found to be the most widespread. Additionally, the study assessed the distribution levels of nematodes across different biotopes.

Keywords: intensive orchards, cherry, *Prunus cerasus*, nematodes, biotope, *Panagrolaimida*, soil.

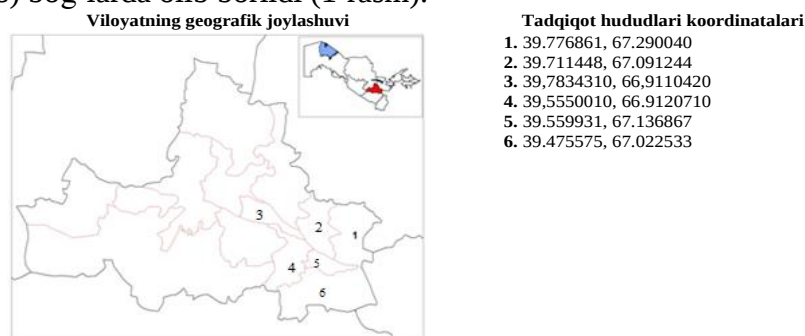
Kirish. O‘zbekistonda intensiv bog‘dorchiliklarni tashkil etish 2000-yillardan keyin ancha jadallashdi. Hukumatning qishloq xo‘jaligini modernizatsiya qilishga qaratilgan dasturlari doirasida intensiv bog‘lar yaratishga katta e‘tibor qaratilmoqda. Xususan, intensiv bog‘lar barpo etish bo‘yicha davlat dasturi ishlab chiqilib (<https://lex.uz/docs/-4249824>), Prezident farmonlari asosida intensiv bog‘lar va tokzorlarni rivojlantirish uchun fermerlarga imtiyozli kreditlar ajratildi (<https://lex.uz/docs/-6059862>).

O‘zbekistonning iqlimi keskin kontinental va qurg‘oqchil bo‘lgani sababli, an‘anaviy bog‘dorchilik usullari ko‘p hollarda suv tanqisligi va tuproq unumdorligining pastligi sababli kutilgan natijani bermaydi. Intensiv bog‘larda esa tomchilatib sug‘orish tizimi qo‘llaniladi. Bu esa suvni 50–70% gacha tejash imkonini beradi va suv tanqisligi sharoitida hosildorlikni ta‘minlaydi. Shuningdek, seleksiya asosida mahalliy iqlimga mos keluvchi qurg‘oqchilik va sovuqqa chidamli intensiv navlar yetishtirilmoqda. Bugungi kunda O‘zbekistonda 200 ming gektardan ortiq yer maydoni intensiv bog‘lar bilan qoplangan bo‘lib, ularning asosiy qismi Samarqand, Farg‘ona, Namangan, Andijon, Toshkent, Qashqadaryo va Jizzax viloyatlarida joylashgan.

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda O‘zbekistonda kelgusida intensiv bog‘lar maydonlari yanada kengayishini taxmin qilish mumkin. Lekin ushbu bog‘larning kengayib borishi doimo turli abiotik va biotik noqulay omillar tufayli cheklanib turadi. Intensiv bog‘lar zararkunandalari orasida o‘simlik parazit nematodalar ham bor. Parazit nematodalar daraxtchil o‘simliklarning hali yosh, ildiz tizimi unchalik kuchli rivojlanmagan davrida ularga kuchli ta‘sir etadi. Parazit nematodalar ta‘sirida o‘simlikning ildiz sistemasi faoliyati buziladi, boshqa kasallik qo‘zg‘atuvchilarning kirib kelishi uchun yo‘l ochiladi. Shu sababdan barpo etilayotgan intensiv bog‘larning nematodafaunasini o‘rganish, parazit turlar tarkibini aniqlash, ularga qarshi kurash usullarini takomillashtirish va profilaktik chora-tadbirlarni ishlab chiqishda nihoyatda muhim ahamiyatga ega.

O‘zbekistonda mevali bog‘lar nematodafaunasini o‘rganishga bag‘ishlangan ishlar asosan an‘anaviy daraxtchil o‘simliklarda (past bo‘yli bo‘lmagan) amalga oshirilgan. Tadqiqotlar davomida tabiiy biotsenozlarda o‘zuvchi daraxtchil o‘simliklar [4, 11], tokzorlar [5] hamda mevali daraxtzorlar [7, 10, 11] nematodafaunasi tarkibi, ekologik xususiyatlari hamda parazit turlariga qarshi kurash choralari ishlab chiqilgan. Lekin, intensiv mevali bog‘lar nematodafaunasiga juda kam e‘tibor qaratilgan [3] va olcha bog‘lari nematodafaunasi bo‘yicha hali ma‘lumotlar yetarli emas. Bu esa ushbu yo‘nalishda olib boriladigan tadqiqotlarning dolzarbligi va ilmiy-amaliy ahamiyatini oshiradi.

Tadqiqot obyekti va metodlari. Tadqiqotlar Samarqand viloyatining Bulung‘ur, Jomboy, Samarqand, Urgut, Toyloq va Oqdaryo tumanlarida tashkil etilgan intensiv olcha (*Prunus cerasus*) bog‘larda olib borildi (1-rasm).



1-rasm. Tadqiqot hududi koordinatalari (Google Maps). 1. Bulung‘ur tumani, 2. Jomboy tumani, 3.

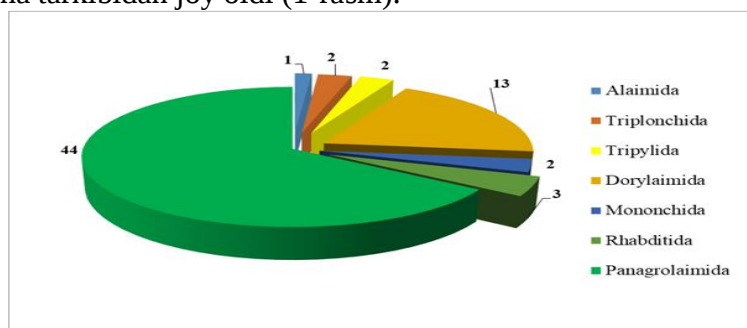
Oqdaryo tumani, 4. Samarqand tumani, 5. Toyloq tumani, 6. Urgut tumani

Har bir tumandan 10 tadan o‘simlikning ildiz sistemasi va rizosfera tuprog‘idan

namunalar olindi. Har bir o'simlikdan ildiz sistemasi, ildiz atrofidagi tuproqning 0-15, 15-30 va 30-45 sm qatlamlaridan alohida namunalar olinib nematodalar uchun tahlil qilindi. Tadqiqot hududlari intensiv olcha bog'laridan olingan 240 ta namunadan 208 tasida (86 %) nematodalar bo'lishi aniqlandi. Nematodali namunalarining 36 tasi ildiz sistemasiga, 172 tasi rizosfera tuprog'i namunalariga to'g'ri keldi. Laboratoriya sharoitida nematodalarni ajratib olishda Bermanning voronkali usulidan [6] foydalanildi. Ajratib olingan nematodalardan umumqabul qilingan usullardan foydalanib vaqtinchalik va doimiy preparatlar tayyorlandi [6]. Turlarni aniqlashda de Man tavsiya etgan [2] morfometrik ko'rsatkichlarga asoslangan formuladan hamda fitogelmintologik aniqlagichlardan [8,9] foydalanildi. Nematodalarni sistematik holatini ko'rsatishda molekulyar, filogenetik va morfologik dalillarga asoslangan sistematikadan foydalanildi [1].

Olingan natijalar va ularning tahlili. Nematodafauna tarkibi 67 turdan tashkil topdi. Aniqlangan turlarning taksonomik ro'yxati Hodda tomonidan tavsiya etilgan (Hodda, 2022) nematodalarning klassifikatsiyasiga asosan tuzib chiqildi. Olcha nematodafaunasidagi turlar Nematodalar (Nematodes) tipining 3 ta sinfi (Enoplea, Dorylaimea, Chromadorea), 7 turkumi (Alaimida, Triplonchida, Tripylida, Dorylaimida, Mononchida, Rhabditida, Panagrolaimida) va 36 avlodiga mansub bo'ldi.

Qayd etilgan turlarni turkumlar bo'yicha taqsimlanishi tahlil qilinganda Panagrolaimida turkumi nematodafaunadagi turlarning 66 % ini (44 tur) o'z ichiga olgan holda yaqqol dominantlik qilishi ma'lum bo'ldi. Shuningdek, Dorylaimida turkumi 13 tur bilan (19%) subdominant turkum sifatida qayd etilgan bo'lsa, qolgan turkumlar 1-3 tadan turlari bilan fauna tarkibidan joy oldi (1-rasm).



2-rasm. Aniqlangan turlarning turkumlar bo'yicha taqsimlanishi

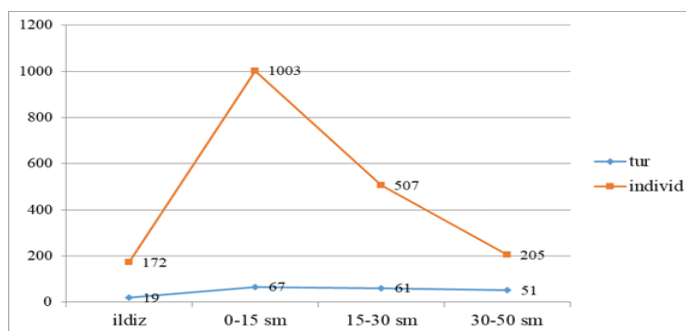
Turlarni avlodlar kesimida tahlil qilganimizda nematodafauna tarkibidagi turlar 1 tadan 4 tagacha turlarni o'z ichiga olishi ma'lum bo'ldi. *Eudorylaimus*, *Aphelenchoides* va *Cephalobus* avlodlari o'z ichiga 4 tadan turlarni olib, qolgan avlodlarga nisbatan kengroq tarqalganligi kuzatildi (1-jadval).

1-jadval. Olcha nematodafaunasidagi nematodalar avlodlari va ularning biotoplar bo'yicha tarqalishi

Avlodlar	Biotoplarda qayd etilishi				Shu avlodga mansub turlar soni
	Ildiz	0-15 sm	15-30 sm	30-45 sm	
<i>Alaimus</i> De Man, 1880	-	+	+	+	1
<i>Diphtherophora</i> De Man, 1880	-	+	+	+	1
<i>Trichodorus</i> Cobb, 1913	-	+	+	+	1
<i>Prismatolaimus</i> De Man, 1880	-	+	+	+	2
<i>Dorylaimus</i> Dujardin, 1845	-	+	+	+	2
<i>Mesodorylaimus</i> Andrassy, 1959	-	+	+	+	3
<i>Eudorylaimus</i> Andrassy, 1959	-	+	+	+	4
<i>Discolaimus</i> Cobb, 1913	-	+	+	+	1
<i>Xiphinema</i> Cobb, 1913	-	+	+	+	2
<i>Nygolaimus</i> Cobb, 1913	-	+	+	+	1
<i>Mononchus</i> Bastian, 1865	-	+	+	+	1
<i>Mylonchulus</i> Cobb, 1916	-	+	+	+	1

<i>Mesorhabditis</i> Osche, 1952	-	+	+	+	1
<i>Rhabditis</i> Dujardin, 1844	-	+	+	+	2
<i>Panagrolaimus</i> Thorne, 1937	-	+	+	+	2
<i>Aphelenchus</i> Bastian, 1865	+	+	+	+	2
<i>Aphelenchoides</i> Fischer, 1894	+	+	+	+	4
<i>Ditylenchus</i> (Kuhn, 1857) Filipjev, 1936	+	+	+	+	2
<i>Nothotylenchus</i> Thorne, 1941	+	+	+	-	1
<i>Criconeimoides</i> Taylor, 1936	-	+	+	+	1
<i>Paratylenchus</i> Micoletzky, 1922	-	+	+	+	2
<i>Hoplolaimus</i> Daday, 1905	+	+	+	+	1
<i>Helicotylenchus</i> Steiner, 1945	-	+	+	+	2
<i>Rotylenchus</i> Filipjev, 1936	+	+	+	-	2
<i>Pratylenchus</i> Filipjev, 1936	+	+	+	-	3
<i>Merlinius</i> Siddiqi, 1970	-	+	+	+	2
<i>Tylenchorhynchus</i> Cobb, 1913	-	+	+	+	3
<i>Aglenchus</i> Andrassy, 1954	-	+	+	+	1
<i>Tylenchus</i> Bastian, 1865	-	+	+	+	2
<i>Acroboides</i> Cobb, 1928	1	+	+	+	2
<i>Cervidellus</i> Thorne, 1937	-	+	+	+	2
<i>Chiloplacus</i> Thorne, 1937	-	+	-	-	2
<i>Zeldia</i> Thorne, 1937	-	+	-	-	1
<i>Cephalobus</i> Bastian, 1865	+	+	+	+	4
<i>Eucephalobus</i> Steiner, 1936	-	+	+	+	3
<i>Heterocephalobus</i> Brzeski, 1961	-	+	+	+	1

Turlarning biotoplar bo'yicha tarqalishi ham turlicha bo'lishi kuzatildi (3-rasm). Ildiz sistemasi turlar va individlar soni (16 tur) jihatidan eng kam ko'rsatkichga ega bo'ldi. Ildiz sistemasida uchratilgan turlar *Eudorylaimus*, *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Nothotylenchus*, *Hoplolaimus*, *Rotylenchus*, *Pratylenchus*, *Cephalobus* avlodlari vakillaridan iborat bo'ldi. Ushbu avlodlardan *Ditylenchus*, *Pratylenchus* va *Hoplolaimus* avlodlariga mansub turlar ushbu biotopda dominant turlar sifatida qayd etildi.



3-rasm. Aniqlangan tur va individlarning biotoplar bo'yicha tarqalishi

Tur va individlarning eng yuqori xilmaxilligi rizosfera tuprog'ining 0-15 sm qatlamida qayd etildi. Umuman olganda, olcha nematodafaunasidagi barcha turlar ushbu biotopda qayd etildi. Mazkur biotopda *Prismatolaimus*, *Diphtherophora*, *Eudorylaimus*, *Rhabditis*, *Aphelenchoides* avlodiga mansub turlar individlari soni jihatidan dominant turlar ekanligi ma'lum bo'ldi. Rizosfera tuprog'ining 15-30 sm.li qatlamida uchratilgan turlar tarkibi 0-15 sm.li qatlamga ancha yaqin bo'ldi. Shunday bo'lsa-da, individlar soni deyarli ikki baravarga kamayishi kuzatildi. 30-45 sm.li tuproq qatlamida 51 tur nematodalar qayd etildi. Ushbu biotop turlar va ularning individlari soni ildiz sistemasiga nisbatan ko'p bo'lsa-da, qayd etilgan turlarning har birining individlari kam sonda ekanligi ma'lum bo'ldi. Ya'ni ildiz sistemasida qayd etilgan turlarning individlari 1-34 oralig'ida bo'lsa, 30-45 sm qatlamda 1 tadan 8 tagacha bo'lishi kuzatildi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlardan xulosa qilib aytganda, olcha nematodafaunasida uchratilgan turlarning uchrash darajasi turli biotoplarda bir-biridan

farq qilishi ma'lum bo'ldi. Nematodafauna tarkibida *Prismatolaimus*, *Diphtherophora*, *Eudorylaimus*, *Rhabditis*, *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Pratylenchus* va *Hoplolaimus* avlodlari vakillari keng tarqalganligi aniqlanildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Hodda M. Phylum Nematoda: a classification, catalogue and index of valid genera, with a census of valid species. *Zootaxa*, 2022. 5114 (1): 001–289. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5114.1.1>
2. Man J. G. de Nouvelles reserches sur les nematodes libres terricoles de la Hollande. *Capital Zool.* 1921; 1 (1): 1–62
3. Mavlyanov O., Nurmatova D.M., Narzullayev S.B. Intensiv olma bog'lari nematodafaunasi (Samarqand viloyati misolida). Oziq-ovqat xavfsizligi: Milliy va global muammolar. Ilmiy jurnali. 2024 (3). 20-25 b. <https://doi.org/10.59251/2181-3973.2023.v3.138.3.2941>
4. Narzullayev S., Kambarov S., Mirzaev U., Tursunova Sh. 2023. Diversity of woody plant nematodes in specially protected biocenosis of Zarafshan Mountain, Uzbekistan. *Biodiversitas* 24 (6): 3145-3151. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240607>
5. Азизова П.Э. К изучению фауны нематод виноградников и их прикорневой почвы в условиях Ташкентской области. - *Узбекский биологический журнал*, 1971. - С. 50-52
6. Кирьянова Е. С., Краль Э. Л. Паразитические нематоды растений и борьба с ними. Т. I. - Ленинград: Наука, 1969. - С. 1–447.
7. Норбўтаева Г., Абдурахмонова Г. Самарқанд вилояти айрим мевали дарахтлари фитонематодаларининг экологик хусусиятлари // “Ботаника, биоэкология, ўсимликлар физиологияси ва биокимёси муаммолари” мавзусидаги Республика илмий-амалий конференцияси материаллари. Тошкент. 2011. 94-95 бетлар.
8. Тулаганов А. Т., Усманова А. З. Фитонематоды Узбекистана (отряд Tylenchida). Книга 1. - Ташкент: Фан, 1975. - С. 3–371.
9. Тулаганов А. Т., Усманова А. З. Фитонематоды Узбекистана. Книга 2. -Ташкент: Фан, 1978. - С. 3–442.
10. Хуррамов Ш. Х. Нематоды субтропических плодовых культур Средней Азии и меры борьбы с ними // - Ташкент: Фан. 2003. - 333 с.
11. Хуррамов Ш.Х., Бекмурадов А.С. Паразитические нематоды диких и культурных субтропических плодовых растений Средней Азии. *Российский паразитологический журнал*. 2021;15(1):98-102. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2021-15-1-98-102>

FICUS ELASTICA ROXB. EX HORNEMNING QARSHI VOHASI SHAROITIDA KO'PAYTIRISHNING SAMARALI USULLARI

Samatova Shoxista Azamatovna

Qarshi davlat universiteti, Biologiya fanlari nomzodi, dotsent

canna_luiza@mail.ru

Shaxriddinova Madina Zafar qizi

Turon universiteti magistranti

ORCID 0009-0001-6828-8130

UDK 633.913(045)

Annotatsiya. Maqolada *Ficus elastica* Roxb. ex Hornemning yopiq sharoitda rizogenez xususiyatini o'rganish natijalari keltirilgan. O'simlikning bir yoshli yashil va 3-4 oylik novdalaridan, shuningdek, bir yoshli novdalarning apikal, o'rta va pastki qismidan tayyorlangan bir bo'g'imli qalamchalarining ildiz olish xususiyati o'rganilgan. Qarshi vohasida *F. elasticani* havo harorati 24-28°C bo'lgan issiqxona sharoitida ko'paytirish maqsadga muvofiqligi, bir yoshli novdalardan tayyorlangan bir bo'g'imli qalamchalarni kuz oyining dastlabki kunlarida, 3-4 oylik novdalardan tayyorlanganlarini esa kuz oyi mobaynida ildiz oldirish samarali ekanligi, shuningdek, kuz oylarida bir yoshli novdaning apikal va o'rta qismidan tayyorlangan qalamchalarning rizogenez xususiyati yuqori bo'lishi aniqlangan. Qarshi vohasida havo haroratining yoz oylarida ko'tarilib, qishda pasayib ketishi oranjereya sharoitiga ham o'z ta'sirini ko'rsatishi oqibatida o'simlikning majburiy tinim davriga kirishi to'g'risida xulosa qilingan.

Kalit so'zlar: fitodizayn, issiqxona, vegetativ ko'paytirish, qalamcha, rizogenez.

EFFECTIVE METHODS OF PROPAGATION OF *FICUS ELASTICA* ROXB. EX HORNEM IN THE CONDITIONS OF THE KARSHI OASIS

Abstract. The article presents the results of a study of the characteristics of rhizogenesis of *Ficus elastica* Roxb ex Hornem in closed conditions. The rooting of cuttings prepared from green annual and 3-4-month shoots of the plant, as well as from the apical, middle and lower parts of annual shoots, was studied. It was found that in the Karshi oasis, propagation of *F. elastica* is advisable to carry out in greenhouse

conditions at an air temperature of 24-28°C, that rooting of cuttings prepared from annual branches in the first days of autumn is effective, and from 3-4-month branches - in the fall, that cuttings prepared from the apical and middle parts of annual branches have a high rhizogenesis capacity in the fall. It is concluded that an increase in air temperature in the Karshi oasis in the summer months and a decrease in winter also affected the conditions in the greenhouse, causing a forced dormant period in the plants.

Keywords: phytodesign, greenhouse, vegetative propagation, cuttings, rhizogenesis

Kirish. Fitodizayn – botanika fanining rivojlanib borayotgan yangi yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, o‘simliklarni biologik muvofiqligi, atrof-muhit xususiyatlari va bino ichi havo sifatini yaxshilash qobiliyatini hisobga olgan holda ichki dizaynga va boshqa binolarning dizayniga maqsadli ilmiy asoslangan joriy etishdir. Bu yo‘nalish o‘simliklarni sun‘iy muhitda o‘stirish, loyihalash va amalda qo‘llash bilan shug‘ullanadi. Fitodizayn faoliyati o‘simliklarni obyektiv dunyo bilan birlashtirishga, sun‘iy muhitni insonparvarlashtirish yo‘nalishini davom ettirishga, insonda barcha yuksak narsalarni qadrlashga, go‘zallik qonuniyatlari bo‘yicha yashash va ishlashga intilish hissini uyg‘otishga qaratilgan (1). Oxirgi ma‘lumotlarga ko‘ra, insonlarning estetik, tibbiy-biologik, psixologik muammolarini yechishda ham ushbu yo‘nalishdan foydalanilmoqda (2).

O‘zbekiston sharoitida binolar ichki qiyofasini fitodizayn asosida bezash maqsadida asosan tropik va subtropik o‘simliklardan foydalaniladi. O‘tmishda tropik va subtropik o‘simliklar introduksiyasi stixiyali tarzda amalga oshirilgan. Bizning davrimizda bu soha o‘simliklar geografiyasi, fiziologiyasi, ekologiyasi, bioximiyasi, genetikasi kabi yo‘nalishlarning yutuqlariga asoslangan holda o‘zining nazariy va metodik bazasiga ega bo‘lishga ulgurgan. Shunga qaramay, interyerlarni bezashda bir xillik ko‘zga tashlanadi. O‘simliklarni joylashtirishda estetik talablarga rioya etilmaydi. Tijorat yo‘li bilan Xitoy, Hindiston singari davlatlardan keltirilayotgan tropik va subtropik o‘simliklar esa biologiyasi, ko‘paytirishning samarali usullari va parvarishlash qoidalari to‘g‘risida yetarlicha ma‘lumotlarning yo‘qligi sababli tez orada nobud bo‘lib, behuda va natijasiz sarf-xarajatlarga olib kelmoqda. Aynan shu muammolar tadqiqot ishining maqsadini belgilab berdi.

Yopiq yerda o‘stiriladigan introdutsentlarni vegetativ ko‘payish xususiyatlarini bilish atrof-muhit sharoitlariga moslashish nuqtayi nazaridan ham, amaliy nuqtayi nazardan ham muhimdir. Ayrim turlar issiqxona sharoitida generativ ko‘paymaydi. Chunki issiqxonadagi sharoit ularning tabiatdagi o‘sinh sharoitlariga nisbatan ekstremalga yaqin bo‘ladi. Ayrim turlar, hatto tabiiy sharoitda ham, ayniqsa, arealiining chekka hududlarida tarqalgan bo‘lsa, vegetativ ko‘payishga ko‘proq moyil bo‘ladi yoki faqat vegetativ tarzda ko‘payadi. Ayniqsa manzarali lianalar qisqa vaqt ichida jadal o‘sishi orqali ular iqtisodiy jihatdan juda foydali hisoblanadi (3). *Ficus L.* turkumining ko‘pchilik vakillari shunday o‘simliklar sirasiga kiradi.

Ushbu turkum tutdoshlar oilasi (Moraceae Link) ga mansub bo‘lgan qadimiy o‘simliklardan bo‘lib, hayotiy formalarga boy (4). Taxtasimon ildizli doimiy yashil daraxt, ba‘zan barglarini to‘kuvchi buta hamda liana o‘simlik bo‘lgan fikuslarning barglari poyada navbat bilan joylashgan, butun yoki panjasimon. Barglarining o‘lchami turlicha: *F. pumilada* 1 sm bo‘lsa, *F. lyratada* 45 sm keladi (5). Barglarining rangi oq-yashildan to‘q yashilgacha, navlari va bog‘ formalarida targ‘il, yo‘l-yo‘l, shtrixli va qizg‘ish rangda. Gullari mayda, bir uyli va ikki uyli, bir jinsli, etli o‘qqa ega bo‘lgan noksimon to‘pgulda joylashgan bo‘lib, bu to‘rgul “sikoniy” deb ataladi. Uning ustki qismida mayda teshikcha bo‘lib, o‘simlik tanasi va novdalarida rivojlanadi. Sutsimon shira chiqaradi. Hasharotlar yordamida changlanadi (6). Ko‘pchilik turlari shifobaxshlik xususiyatiga ega (7).

Asosan tropik va subtropik rayonlarda tarqalgan. Ko‘pchilik turlari madaniylashtirilgan. Oxirgi 50 yil mobaynida Toshkent Botanika bog‘i oranjereyasida fikuslarning 14 ta botanik-geografik provinsiyadan kelib chiqqan 26 turi turli mamlakatlardan keltirilib introduksion sinovdan o‘tkazilgan. Ularning 20 ga yaqini urug‘laridan ko‘paytirilgan. Urug‘lari asosan MDH davlatlari, Niderlandiya va Hindistondan keltirilgan (8). Ushbu turlarni vegetativ ko‘paytirish usullarini tadqiq qilish ularni respublika hududlariga keng tarqalishiga imkon beradi.

Tadqiqot obyekti va metodlari. Tadqiqot obyekti – *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem – elastik fikus yoki kauchuk beruvchi fikus. Ushbu daraxtsimon liana bo‘lib, tabiiy holda uzunligi 25-40 m ga yetadi. Tabiatda Hindistonning shimoli-sharqiy qismida, Indoneziyaning

janubiy hududlaridagi nam tropik oʻrmonlarda tarqalgan. Barglari yirik, keng, seret, novda uchida joylashgan, naysimon oʻralgan holatida qizgʻish rangda, yozilgandan soʻng ellips shaklida. Uzunligi 35 sm gacha, eni 10 sm. Bargusti toʻq yashil rangda, bargosti esa ochiq yashil. Targʻil va chipor tusdagi bargli formalari bor. Novdalari koʻp sonli, malla rangda; juda koʻp havo ildizlar hosil qiladi. Har ikkala turning tabiiy yashash sharoitidagi iqlim koʻrsatkichlarida farqlar mavjud (1-jadval).

1-jadval

***F. elastica* ning tabiiy holda oʻsadigan hududlarini tuproq-iqlim sharoitlari**

Provin siya	Oʻrtacha t, °C			Yogʻin, mm			Tuproqʻi
	yillik	eng issiq oyda	eng sovuq oyda	yillik miqdori	eng seryogʻin oyda	eng qurgʻoqchil oyda	
Dekan	26,4	30,6	19,6	1588	321	3	Karbonatli

Oʻsimlikni vegetativ koʻpaytirishda P.I. Lapinning (1984) tavsiyalaridan foydalanildi (9). Shu maqsadda Qarshi shahrida oranjereya sharoitida oʻsib turgan katta yoshli oʻsimliklar bir yillik novdasining yashil qismidan va 3-4 oylik yashil novdalaridan yaxshilab charxlangan skalpel bilan qalamchalar tayyorlandi va 2024-yil sentyabr va noyabr oylarida ekildi. Kesilgan joydan chiqayotgan sutsimon shira qotib qolib, qalamchalardagi oʻtkazuvchi naychalarni yopib qoʻymasligi uchun qalamchalar iliq suvga solinib bir necha daqiqa chayildi. Yuvib olingan qalamchalar bir soat atrofida havoda quritildi. Har bir variantda bitta boʻgʻim va bitta barg yaprogʻiga ega boʻlgan 12 tadan qalamcha qiya holatda qum aralashtirilgan yengil tuproqqa suqildi. Qalamchalar havoning nisbiy namligi 80%, havo harorati 24-36 °C boʻlgan issiqxona sharoitida ildiz oldirildi. Tez-tez suv purkab turish orqali havo nisbiy namligining baland boʻlishiga erishildi. A.L. Filipenko maʼlumotiga koʻra fikusning ushbu turini vegetativ usulda koʻpaytirishda oʻsish stimulyatorlaridan foydalanish qalamchalarning ildiz olish koʻrsatkichining tushib ketishiga sabab boʻladi (10). Shu sababli tadqiqot davomida biz oʻsish stimulyatorlaridan foydalanmadik.

Natijalar va muhokama. Qalamchalarning ildiz olish koʻrsatkichi ularni oʻsimlik tanasining qaysi qismidan olinganligiga va qaysi mavsumda ildiz oldirilganligiga bogʻliq ekanligi aniqlandi (2-jadval).

2-jadval

Issiqxona sharoitida qalamcha turi va uni ildiz oldirish muddatining *Ficus elasticaning* ildiz olishiga taʼsiri (2023-yil)

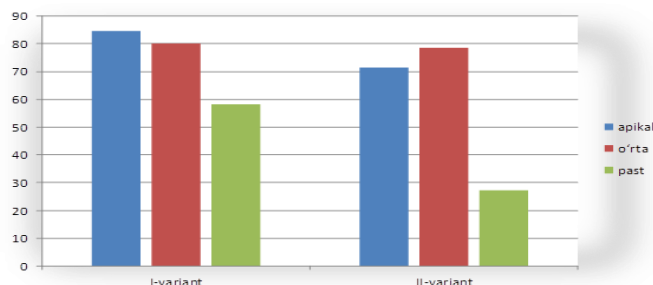
Qalamcha qoʻyilgan vaqt	Qalamcha turi	Qalamchalar soni	Ildiz olishi, %	Ildiz olish davomiyligi, kun
20.07	bir yoshli novda	12	58,0	46
	3-4 oylik novda	12	65,0	40
01.09	bir yoshli novda	12	91,0	33
	3-4 oylik novda	12	100	30
01.11	bir yoshli novda	12	75,0	34
	3-4 oylik novda	12	83,0	38

Issiqxonada havo harorati 36°C boʻlgan iyul oyida qoʻyilgan bir yoshli qalamchalar 46 kunda, 3-4 oylik qalamchalar esa 40 kunda ildiz oldi. Harorat 28 °C boʻlgan sentabr oyining birinchi kunida qoʻyilgan bir yoshli qalamchalar esa 33 kunda, 3-4 oylik qalamchalar esa 30 kunda ildiz oldi. Harorat 24 °C boʻlgan noyabr oyida esa bir yoshli qalamchalar 34 kunda, 3-4 oylik qalamchalar esa 38 kunda ildiz oldi. Shunday qilib, issiq davr – 20 iyulda qoʻyilgan qalamchalarning ildiz olish tempi nisbatan sekin borishi, sentyabrda ularning ildiz olish tempi jadallashganligi, havo harorati nisbatan pasaygan noyabr oyida qoʻyilgan qalamchalarning ildiz olish tempi ham sekinlashganligi kuzatildi.

Yozda qoʻyilgan qalamchalarning ildiz olish koʻrsatkichi eng past (58-65%) boʻldi. Kuzning boshida qoʻyilgan qalamchalarning deyarli barchasi (91,0-100%) ildiz oldi. Kuz oxirida qoʻyilgan qalamchalarda bu koʻrsatkich biroz pasaydi (75,0-83,0%). 3-4 oylik novdalardan olingan qalamchalarning ildiz olish koʻrsatkichi uchala muddatda ham bir yoshli yashil qalamchalarga nisbatan yuqori boʻlganligi kuzatildi.

Bir boʻgʻimli qalamchalarning ildiz olish xususiyatini yanada chuqurroq oʻrganish

maqsadida 2024-yilda elastik fikusni bir yoshli novdasining turli joylari: apikal, oʻrta va pastki qismidan 10-sentyabrda (I variant) va 12-noyabrda (II variantda) qalamchalar qoʻyildi. I variantdagi apikal qalamchalar soni 13 tani, oʻrta qismidan tayyorlangan qalamchalar soni 15 tani, pastki qismidan tayyorlanganlarini esa 12 tani tashkil qilgan boʻlsa, II variantda ularning soni mos ravishda 14, 14 va 12 tani tashkil qildi. Har ikkala variantda ham novdaning apikal va oʻrta qismidan tayyorlangan bir boʻgʻimli qalamchalarning ildiz olish koʻrsatkichi yuqori boʻldi (71,4% dan 84,6% gacha) (rasm). Bir yoshli novdaning pastki qismidan tayyorlangan va sentyabr oyida ildiz oldirishga qoʻyilgan qalamchalar oʻrtacha (58,3%), noyabr oyida qoʻyilgan qalamchalar esa past (27,3%) rizogenez xususiyatini namoyon qildi.



Rasm. *Ficus elastica* novdasining turli qismlaridan olingan bir boʻgʻimli qalamchalarning ildiz olish darajasi

Shunday qilib, oranjereya sharoitida oʻstirilgan *Ficus elasticani* havo harorati 24-28 °C boʻlgan issiqxona sharoitida koʻpaytirish maqsadga muvofiq ekan. Bir yoshli novdalardan tayyorlangan bir boʻgʻimli qalamchalarni kuz oyining dastlabki kunlarida, 3-4 oylik novdalardan tayyorlanganlarini esa kuz oyi mobaynida ildiz oldirish samarali ekan. Shuningdek, kuz oylarida bir yoshli novdaning apikal va oʻrta qismidan tayyorlangan qalamchalarning rizogenez xususiyati ham yuqori ekanligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari qator olimlarning maʼlumotlarini tasdiqlaydi (2, 11). Qarshi vohasida havo haroratining yoz oylarida koʻtarilib, qishda pasayib ketishi oranjereya sharoitiga ham oʻz taʼsirini koʻrsatishi oqibatida oʻsimlikning majburiy tinim davriga kirishi bilan izohlash mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Тараканова К. В., Баклыская Л.Е. Фитодизайн в интерьере и его влияние на жизнедеятельность человека //Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тихоокеанский государственный университет, 2014. – Т. 2. – С. 235-239.
2. Заболотских В. В., Шигабиев Д. Ф., Иванова А. В., Гатаулина Р.В. Фитодизайн как наука и искусство в современном мире // Евразийский Союз Ученых. 2019. №1-1 (58).
3. Vlas C. Particularitățile reproducerii vegetative și ponderea substratului de creștere asupra rizogenezei butașilor de liane decorative folosite în fitodesign //Noosfera. Revista științifică de educație, spiritualitate și cultură ecologică. – 2013. – №. 8. – С. 129-131.
4. Чаудхари Л.Б. и др. Конспект рода *Ficus* L.(Moraceae) в Индии //Тайвания. – 2012. – Т. 57. – №. 2. – С. 193-216.
5. Соуза К.Д. и др. Разнообразие инжирных желез связано с мутуализмом в питомниках у инжирных деревьев //Американский журнал ботаники. – 2015. – Т. 102. – №. 10. – С. 1564-1577.
6. Миронова Ю.В., Сорокопудов В.Н. Перспективы использования представителей рода *Ficus* в фитодизайне помещений // Вестник КрасГАУ. 2009. №5.
7. Салехи Б. и др. Фикусовые растения: современное состояние с фитохимической, фармакологической и токсикологической точки зрения // Фитотерапевтические исследования. – 2021. – Т. 35. – №. 3. – С. 1187-1217.
8. Кармишина Н.М. Итоги интродукции видов *Ficus* L. // Итродукция и акклиматизация растений. Вып. 28.-Ташкент, 2003.-С.44-59.
9. Лапин П.И. Влияние гидротермических условий на укореняемость черенков древесных растений // Бюл. Гл. ботан. сада, – 1984. –№ 132. – С. 52–56.
10. Филипенко А.Л. Влияние стимуляторов роста на вегетативное размножение некоторых представителей семейства тутовые (Moraceae) //IV Машеровские чтения, 2010. – С. 160-161.
11. Бородин А.М., Калущий К.К., Правдин Л.Ф., Тропические леса, Лесная промышленность. - Москва, 1982. - 296 с.

**QISHLOQ SHAROITIDA EMIZIKLI AYOLLARNING AYRIM
MINERALLAR BILAN FIZIOLOGIK TA'MINLANISHI****Baratova Shoxsanam Sobir qizi**Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
tayanch doktorant**Buranova Gulnoza Boymuratovna**

Qarshi davlat universiteti, dotsent

shoxsanambaratova11@gmail.com

ORCID 0009-0008-0898-4717

UDK 612.39(-032)(045)

Annotatsiya. Maqolada Qashqadaryo viloyati Yakkabog' va G'uzor tumanlari qishloq sharoitida yashaydigan 18-29 yoshli emizikli ayollarning laktatsiya davrida kundalik iste'mol taomlari orqali kalsiy, fosfor, magniy, temir va rux moddalari bilan ta'minlanish miqdorini o'rganish natijalari keltirilgan.

Olingan natijalarga ko'ra, Yakkabog' tumanida yashaydigan tekshiriluvchilarning kunlik ratsionidagi oziq-ovqatlar tarkibidagi kalsiyni miqdori $653,6 \pm 47,4$ mg, fosfor $1369,9 \pm 69,5$ mg, magniy $405,1 \pm 20,7$ mg, temir $22,1 \pm 1,2$ mg va rux $8657,5 \pm 429,4$ mkg ni tashkil etdi. G'uzor tumanida istiqomat qiluvchi emizikli ayollarning kunlik ratsionidagi kalsiyni miqdori $562,2 \pm 30,5$ mg, fosfor $1293,9 \pm 60,3$ mg, magniy $371,5 \pm 21,2$ mg, temir $20,1 \pm 1,0$ mg rux $8240,2 \pm 393,2$ mkg dan iborat. Aniqlangan holat respublikamizning janubiy viloyatlaridan hisoblanadigan Qashqadaryo viloyati qishloq sharoitida istiqomat qiladigan emizikli ayollarning ovqatlanishi va minerallar bilan ta'minlanishida nomutanosibliklar mavjudligi va bu boradagi tadqiqotlar respublikamizning turli hududlarida keng miqyosda olib borilishi lozimligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: emizikli ayollar, laktatsiya davri, kunlik ratsion, makronutrientlar, mikronutrientlar, mineral moddalar.

Abstract. The article is devoted to the study of the content of calcium, phosphorus, magnesium, iron, and zinc in the daily food intake of lactating women aged 18-29 living in rural areas of Yakkabog and Guzar districts of Kashkadarya region.

According to the results obtained, the amount of calcium in the daily diet of the subjects living in Yakkabag district was 653.6 ± 47.4 mg, phosphorus 1369.9 ± 69.5 mg, magnesium 405.1 ± 20.7 mg, iron 22.1 ± 1.2 mg and zinc 8657.5 ± 429.4 μ g. The amount of calcium in the daily diet of lactating women living in Guzar district was 562.2 ± 30.5 mg, phosphorus 1293.9 ± 60.3 mg, magnesium 371.5 ± 21.2 mg, iron 20.1 ± 1.0 mg and zinc 8240.2 ± 393.2 μ g. The identified situation indicates that there are imbalances in the nutrition and mineral supply of lactating women living in rural areas of the Kashkadarya region, one of the southern regions of our republic, and that research in this area should be conducted on a large scale in different regions of our republic.

Keywords: lactation period, breastfeeding women, daily diet, calcium, phosphorus, magnesium, iron, zinc.

Kirish. Laktatsiya davrida emizikli onalarning iste'mol qilayotgan taomlarining miqdori, sifati hamda tarkibi ona va bolaning umumiy salomatligiga va ona ko'krak sutining tarkibiga ta'sir etadi. Ona ko'krak suti bola uchun eng maqbul ozuqa hisoblanadi. Ko'krak sutining sifat va miqdor ko'rsatkichlari bolaning morfologik va fiziologik jihatdan biologik rivojlanish jarayonini me'yorda kechishini ta'minlashdagi asosiy omillar hisoblanadi [1].

Aholi turli guruhlarining sog'lom ovqatlanishini tashkil etilishida oqsil, yog', uglevod va vitaminlar bilan bir qatorda mikronutrientlarning yana bir guruhi hisoblangan ma'danli moddalar ham juda ham muhim o'rin tutadi. Xususan, laktatsiya davrida onalar ratsionidagi kunlik taomlarda mineral moddalar yoki ma'danli moddalarning me'yoridan kam yoki ko'p bo'lishi ona va bola organizmida turli o'zgarishlarga sabab bo'ladi. Ular sog'lom ovqatlanishning almashtirib bo'lmaydigan komponentlaridan biri hisoblanadi.

Ma'lumki, homilador ayollarga qaraganda laktatsiya davrida emizikli onalarning bir qancha vitamin va mineral moddalarga bo'lgan fiziologik talablari oshadi [2]. Bu davrda on avval bola organizmi uchun kerakli bo'lgan muhim mineral moddalarga kalsiy va fosfor misol keltirishimiz mumkin. Kalsiy va fosfor moddalari bolaning skelet tizimi morfologik va fiziologik jihatdan me'yorda rivojlanishida muhim biologik ahamiyat kasb etadi. Keyingi yillarda kalsiy moddasining yetishmasligi tufayli yer yuzidagi Afrika, tropik Osiyo mintaqalari va boshqa bir qancha mamlakatlar aholisi orasida raxit kasalligi ko'p uchramoqda [6]. Ko'plab ilmiy adabiyotlarda reproduktiv yoshdagi ayollarning

kunlik ovqat ratsionida kalsiyga boy bo'lgan mahsulotlarni ko'proq iste'mol qilishlari tavsiya qilingan. Ayniqsa, emizikli ayollarning kalsiyga bo'lgan talabini qondirish uchun har safar ovqatlanishdan keyin sut va baliq mahsulotlaridan qo'shimcha tarzda iste'mol qilishlari tavsiya etiladi [1, 10].

Emizikli ayollarning oziq moddalariga bo'lgan ehtiyoji bola emadigan sutning miqdori, onaning yoshi, turmush tarzi, tug'ilish oralig'iga qarab o'zgarib boradi [10].

Laktatsiya davrida sut emizadigan ayollar organizmidagi bir qancha to'qimalarda metabolik, morfologik va gormonal o'zgarishlar sodir bo'ladi. Chunki, laktatsiyaning asosiy vazifasi sut bezlari tomonidan sut ishlab chiqarish va uni ajratishni boshqarishdir. Bu davrda sut ishlab chiqarishni me'yorda kechishi uchun kerakli miqdordagi mineral moddalar, shu jumladan kalsiy ham suyaklar tarkibidagi mineral moddalardan olinadi. Shu sababdan ushbu davrda ko'plab ayollarda suyak mo'rtlashishi holati kuzatiladi [3, 4, 5, 9].

Yangi tug'ilgan bolaning me'yorda o'sib rivojlanishi va immunitet tizimi uchun kerakli bo'lgan moddalardan yana biri bu ruxdir. Ruxning og'iz suti tarkibidagi miqdori qondagiga nisbatan 17 martagacha ko'p. Shu sababli dunyo bo'yicha 6 oylikdan kichik bo'lgan bolalar rux tanqisligi bilan bog'liq kasalliklarga nisbatan kamroq chalinishadi. Bir qancha ilmiy adabiyotlarda yer yuzida aholisi rux bilan kam ta'minlanadigan davlatlarning ko'p qismi Janubiy Afrika, Janubiy va Markaziy Amerika, Janubiy Osiyo mintaqalarida joylashganligi va bunday davlatlarda yashovchi bolalarda yuqumli kasalliklar bilan chalinishga moyillik yuqori bo'lishi qayd etilgan. Shu sababli, sut emizish davrida onalarning rux bilan ta'minlanishini 50 % gacha oshirish talab etiladi [1, 6, 10].

Bolani ko'krak suti bilan oziqlantirish bolaning salomatligi uchun ham onaning salomatligi uchun ham juda foydalidir. Dunyo bo'yicha o'tkazilgan ko'plab tadqiqotlar natijalariga ko'ra bolasini uzoq vaqt davomida emizgan onalarda ko'krak bezi saratoni, diabet, gipertoniya, tuxumdon saratoni va boshqa ko'plab jiddiy kasalliklar bilan chalinish ko'rsatkichlari past darajada ekanligi qayd etilgan [11, 13, 14].

Respublikamizda ayollarning laktatsiya davrida ovqatlanish holati bilan bog'liq ilmiy ma'lumotlar yetarli bo'lmaganligi sababli uning turli mintaqalarida istiqomat qiluvchi emizikli ayollarning amaldagi ovqatlanishini va oziq moddalar bilan ta'minlanishini o'rganish va u asosida kerakli tavsiyalar ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

Yuqoridagi fikrlarni e'tiborga olib, kuzatuvlarimiz davomida Qashqadaryo viloyatining Yakkabog' va G'uzor tumani qishloqlarida yashaydigan emizikli ayollarning kunlik ovqati orqali ayrim mineral moddalar bilan ta'minlanishini o'rganishni maqsad qildik.

Tadqiqot metodologiyasi. Kuzatuvlar Qashqadaryo viloyatining Yakkabog' (53 nafar) va G'uzor (46 nafar) tumanlarida istiqomat qiladigan 18-29 yoshli emizikli ayollar ustida olib borildi va emizikli onalarning kunlik ratsionidagi oziq-ovqatlar tarkibidagi mineral moddalarning miqdori qay darajada ekanligi tekshirildi. Ularning amaldagi ovqatlanishi an'anaviy anketa-so'rov usulida o'rganildi. Tekshiriluvchilar 1 hafta mobaynida iste'mol qilgan barcha oziq-ovqat mahsulotlarini maxsus anketa-so'rovnoma qayd qilib borishdi. Anketalarda keltirilgan mahsulotlar tarkibidagi ma'danli moddalar miqdori aniqlandi. Bunda oziq-ovqat mahsulotlarining kimyoviy tarkibi maxsus jadvallar yordamida hisoblab chiqildi [7]. Anketalardagi ma'lumotlarni matematik hisoblash va statistik qayta ishlashda Windows Microsoft Excel dasturidan foydalanildi. Olingan natijalar esa tegishli me'yorlar bilan solishtirildi [8].

Natijalar va muhokama. Kuzatuvlarimiz davomida emizikli onalarning kunlik taomnomalanishini tahlil qildik. Xususan, ularning kundalik iste'mol taomlari tarkibidagi ayrim mineral moddalar miqdorini o'rgandik. Quyida keltirilgan jadvalda Yakkabog' va G'uzor tumanlari teshiriluvchilarning ayrim ma'danli moddalar bilan ta'minlanish holatini aniqlash natijalarini keltiramiz.

Yakkabog' va G'uzor tumanlari qishloqlarida istiqomat qiluvchi emizikli ayollarning mineral moddalar bilan ta'minlanishi

№	Mineral moddalar	Yakkabog' tumani tekshiriluvchilari (n=53)	G'uzor tumani tekshiriluvchilari (n=46)	Me'yor
1	Ca (mg)	653,6±47,4	562,2±30,5	1500-2000
2	P (mg)	1369,9±69,5	1293,9±60,3	1000
3	Mg (mg)	405,1±20,7	371,5±21,2	300
4	Fe (mg)	22,1 ±1,2	20,1±1,0	27
5	Zn (mkg)	8657,5±429,4	8240,2±393,2	10000

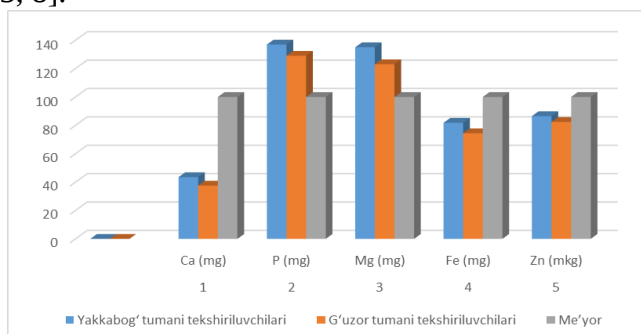
Yuqoridagi jadvalda ko'rinib turganidek, tekshiriluvchilarning kundalik ovqatidagi kalsiyning miqdori ular uchun belgilangan me'yor ko'rsatkichlaridan tegishli darajada farq qiladi. Xususan, Yakkabog' tumanida istiqomat qiluvchi emizikli ayollarning kunlik ovqati orqali kalsiy bilan ta'minlanishi me'yorning quyi chegarasiga nisbatan taqqoslanganda 43,5% ga, G'uzor tumanida istiqomat qiladigan respondentlarda esa 37,5% ga teng.

Respondentlarning fosfor va magniy bilan ta'minlanishi me'yor darajasidan yuqori. Yakkabog' tumani qishloq sharoitida yashaydigan emizikli ayollarning kunlik ratsionidagi fosfor va magniy miqdori me'yorga nisbatan taqqoslaganda, mos ravishda o'rtacha 136,9 va 135% ni, G'uzor tumanidagi tekshiriluvchilarda esa mos ravishda o'rtacha 129 va 123% ni tashkil etdi.

Jadvalda keltirilganidek, tekshiriluvchilarning kunlik taomlanishi orqali temir va rux bilan ta'minlanishida taqchillik mavjud bo'lib, Yakkabog' tumanida bu ko'rsatkichlar me'yorga nisbatan taqqoslanganda mos ravishda 81,8 va 86,5 % ga, shuningdek, G'uzor tumanidagi respondentlar uchun 74,4 va 82,4% ga teng.

Kuzatiluvchilar tomonidan kundalik iste'mol taomlari bilan qabul qilinadigan oziq-ovqat mahsulotlari miqdori tahlil qilinganda, sutkalik ratsionda kalsiy, temir va ruxga boy bo'lgan sut va sut mahsulotlari, dukkakli mahsulotlar, tuxum va go'sht mahsulotlari kamligi, non va un mahsulotlari (turli pishiriqlar, yupqa, pechak, manti, somsa va h), makaron kabilarning ko'p iste'mol qilinganligi aniqlandi.

Onalarning suti xattoki ular to'yib ovqatlanmaganda ham mukammal ozuqaviy va immunologik xususiyatga ega. Ona organizmiga yetarli miqdorda energiya yetib bormaganda, sut ishlab chiqarishni davom ettirish uchun organizm o'zidagi zaxira moddalardan foydalanadi. Lekin, muntazam ravishda yetarli ozuqaviy qiymatga ega mahsulotlar iste'mol qilmaslik sut tarkibida va ona organizmi tarkibidagi ayrim muhim moddalarning yetishmovchiligiga sabab bo'ladi. Bu esa bolada bo'y va vazn jihatdan o'sishda ortda qolish, anemiya, raxit, gipovitaminoz va turli ruhiy kasalliklarga olib kelishi mumkin [1, 3, 8].



Yakkabog' va G'uzor tumanlaridagi emizikli ayollarning mineral moddalar bilan ta'minlanishi (% da)

Xulosa va takliflar. Xulosa qilib shuni aytishimiz mumkinki, respublikamizning janubiy hududlaridan biri hisoblanadigan Qashqadaryo viloyati qishloq sharoitida yashovchi 18-29 yoshli emizikli ayollarning ayrim ma'danli moddalar bilan xususan, kalsiy, temir va rux bilan ta'minlanishida jiddiy yetishmovchiliklar bor. Ushbu hududda istiqomat qiluvchi emizikli ayollarning kunlik ratsionidagi fosfor va magniy miqdori me'yor darajasidan ko'p. Laktatsiya davrida sut emizadigan ayollarning mineral moddalar bilan fiziologik ta'minlanishini o'rganish ona va bola sihat-salomatligini saqlash hamda mustahkamlashda muhim hisoblanadi. Bu borada ularning ratsional ovqatlanishini hamda sog'lom turmush tarzini shakllantirish, ular o'rtasida mavzuga doir tushunchalarni targ'ib qilish muhim amaliy tadbirlardan biri bo'lib hisoblanadi. Kuzatuvlarimiz davomida olingan natijalar, mamlakatimiz hududida emizikli ayollarning amaldagi ovqatlanishi tekshiruvlarini keng miqyosda davom ettirish lozimligini ko'rsatmoqda.

Yuqoridagilardan kelib chiqib shuni ta'kidlash mumkinki, onaning sog'lom ovqatlanishi, turli stressli vaziyatlar va chekishdan yiroq turishi, toza havoda ko'proq sayr qilishi laktatsiya davrining me'yorda kechishi hamda ona va bola salomatligini yaxshi bo'lishida asosiy omillar hisoblanadi.

Foydalanilgan dabiyyotlar

1. Gila-Díaz, A., Díaz-Rullo Alcántara, N., Herranz Carrillo, G., Singh, P., Arribas, S. M., & Ramiro-Cortijo, D. Multidimensional Approach to Assess Nutrition and Lifestyle in Breastfeeding Women during the First Month of Lactation. *Nutrients*. 13(6), 2021. 1766 p.
2. Kominiares, M. A., & Rajan, P. Nutrition Recommendations in Pregnancy and Lactation. *The Medical clinics of North America*, 100(6), 2016. 1199–1215.
3. Canul-Medina, G., & Fernandez-Mejia, C. Morphological, hormonal, and molecular changes in different maternal tissues during lactation and post-lactation. *The journal of physiological sciences: JPS*, 69(6), 2019. 825–835p. <https://doi.org/10.1007/s12576-019-00714-4>
4. Kovacs C. S. Maternal Mineral and Bone Metabolism During Pregnancy, Lactation, and Post-Weaning Recovery. *Physiological reviews*, 96(2), 2016. 449–547 p. <https://doi.org/10.1152/physrev.00027.2015>
5. Baratova Shoxsanam Sobir qizi. Actual problems of healthy nutrition of lactating women. *International Scientific Journal "Science and Innovation"*. 2023. Volume :2 Issue 6. 70-73 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8048273>
6. Hall Moran, V., Lowe, N., Crossland, N., Berti, C., Cetin, I., Hermoso, M., Koletzko, B., & Dykes, F. (2010). Nutritional requirements during lactation. Towards European alignment of reference values: the EURRECA network. *Maternal & child nutrition*, 6 Suppl 2(Suppl 2), 39–54.
7. Физиологические нормы потребностей в пищевых веществах и энергии по половозрастным и профессиональным группам населения Республики Узбекистан для поддержания здорового питания. СанПиН №0347-17. – Тошкент, 2017. – 42 с.
8. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. Химический состав пищевых продуктов: Книга 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов. – Москва «Агропромиздат», 1987. – 224 с.
9. Курбонов Ш.Қ., Дўстчанов Б.О., Курбонов А.Ш., Каримов О.Р. Соғлом овқатланиш физиологияси. Қарши, 2018. – 436 б.
10. Ш.И. Каримов (тахрири остида) Соғлом овқатланиш – саломатлик мезони. Ўзбекистон Республикаси Соғлиқни Сақлаш Вазирлиги Тошкент Тиббиёт Академияси. Тошкент, 2015-йил, 343 б.
11. Feltner C, Weber RP, Stuebe A, et al. Breastfeeding Programs and Policies, Breastfeeding Uptake, and Maternal Health Outcomes in Developed Countries [Internet]. Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality (US); 2018 Jul. (Comparative Effectiveness Review, No. 210.) 524 pages.
12. World Health Organization. Health topics. Infant and young child feeding. Geneva: World Health Organization; 2021. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/infant-and-young-child-feeding>
13. Hu R, Eussen S, Sijtsma F, et al. Maternal dietary patterns are associated with human milk composition in Chinese lactating women. *Nutrition*. Published by Elsevier. 2021.111392. 91-92 p.
14. Mojtaba Keikha, Maryam Bahreynian, Mohammad Saleki, and Roya Kelishadi. Macro- and Micronutrients of Human Milk Composition: Are They Related to Maternal Diet? A Comprehensive Systematic Review. *Breastfeeding Medicine*. 2017. Published in Volume: 12 Issue 9. 517-527 p.

**QISHLOQ MAKTABLARI SHAROITIDA KICHIK MAKTAB YOSHIDAGI
O'QUVCHILARINING AYRIM JISMONIY RIVOJLANISH KO'RSATKICHLARI****Hazratova Hulkar Normurodovna**

Qarshi davlat universiteti

hazratovahulkar2@gmail.com

ORCID 0000-0002-3898-2535

UDK 574/577+572.79+613.2

Annotatsiya. Maqolada 7-10 yoshli qishloq maktabi o'quvchilarining jismoniy rivojlanish ko'rsatkichlarini o'rganish natijalari keltirilgan. Olingan natijalarga ko'ra, o'quvchilarning jismoniy rivojlanish ko'rsatkichlari mavjud standartlardan aytarli darajada farq qilmaydi. 7 yoshli o'g'il bolalarning tana vazni o'rtacha $22,4 \pm 0,74$ kg, bo'y uzunligi $124 \pm 0,02$ sm va ko'krak qafasi aylanasi esa $62,6 \pm 1,5$ sm ni tashkil qiladi. Kettle indeksi me'yoridagi 16 kg/m^2 o'rniga $14,48 \pm 0,35 \text{ kg/m}^2$ ga teng bo'lib, bu me'yorga nisbatan o'rtacha 7-11% gacha kamligini ko'rish mumkin. Shuningdek 8 yoshli bolalarda ham shunga yaqin natijalar qayd qilindi. o'quvchilarning tana vazni, bo'y uzunligi va ko'krak qafasi aylanasi ko'rsatkichlari ularning yoshiga bog'liq holda ortib boradi. Xususan 7-8 yoshlilarda yuqorida qayd qilingan ko'rsatkichlar me'yorga nisbatan aytarli darajada farq kuzatilmaydi. 9-10 yoshli o'g'il va ayniqsa qiz bolalarda bo'y uzunligi, ko'krak qafasi aylanasi hamda Kettle indeksi me'yorga nisbatan yuqoriligi bilan ajralib turadi. O'quvchilarning jismoniy taraqqiyotini o'rganish ularning salomatligini yanada mustahkamlashda muhim qadamlardan biri bo'lib hisoblanadi.

Kalit so'zlar: tana vazni, bo'y uzunligi, ko'krak qafasi aylanasi, kichik maktab yoshidagi o'quvchilar, o'sish, rivojlanish.

Annotation. The article presents the results of a study on the physical development indicators of rural schoolchildren aged 7 to 10. According to the obtained data, the physical development indicators of the students do not significantly differ from established standards. The average body weight of 7-year-old boys is 22.4 ± 0.74 kg, body height is 124 ± 0.02 cm, and chest circumference is 62.6 ± 1.5 cm. The Body Mass Index (BMI) is $14.48 \pm 0.35 \text{ kg/m}^2$, compared to the standard value of 16 kg/m^2 , showing a decrease of about 7–11% from the norm. Similar results were recorded in 8-year-old children. The body weight, height, and chest circumference indicators of students increase with age. In particular, among 7–8-year-olds, these indicators do not show significant deviations from the norms. However, among 9–10-year-old boys, and especially girls, height, chest circumference, and BMI tend to exceed the standard values. Studying the physical development of schoolchildren is one of the key steps in strengthening their overall health. Studying the physical development of students is one of the important steps in further strengthening their health.

Key words: body weight, height, chest circumference, children of primary school age, height, development.

Kirish. Ma'lumki, jismoniy taraqqiyot o'sib kelayotgan yosh organizmning salomatlik holati va uni tashqi muhitning turli omillari ta'siri sharoitida o'sish va rivojlanishini belgilaydigan eng asosiy ko'rsatkichlardan biri bo'lib hisoblanadi. Shunga bog'liq holda bolalarning hayot tarzi, ovqatlanish holati, jismoniy faolligi va boshqa faktorlar me'yoriy o'sib-rivojlanish jarayonlariga o'z ta'sirini ko'rsatadi [4-8]. Bolaning hayotidagi o'sish jarayonlarining eng yuqori ko'rsatkichi dastlab uning yoshiga to'lgungacha bo'lgan davrga, keyin maktabga chiqish davriga hamda balog'atga yetish davrlariga to'g'ri keladi. Bu esa bolalarning uyda va maktabda o'tkazadigan vaqtlarini to'g'ri tashkil qilish, kun tartibiga qat'iy amal qilish, aqliy va jismoniy yuklamalar ko'lamini yoshga mos holda belgilab unga amal qilish va boshqa shunga o'xshash jarayonlarni fiziologik talab darajasida bo'lishi bolalar sihat-salomatligini saqlash va mustahkamlashda alohida o'rin egallaydi [7-11].

Respublikamizda bolalarning salomatligi, ta'lim-tarbiyasi me'yoriy o'sib-rivojlanishi va boshqa masalalarga hukumatimiz tomonidan doimo alohida e'tibor qaratib kelingan va kelinmoqda. Fikrimizning dalili sifatida ona va bola salomatligini saqlash va mustahkamlash, bolalarni kichik yoshidan boshlab to'g'ri parvarishlash, har tomonlama sog'lom o'sib, rivojlanishini ta'minlash masalalariga qaratilgan qator tasdiqlangan qaror hamda farmonlarni qayd etib o'tish mumkin [1-3]. Shu bilan bir qatorda bu masala fiziologiya va tibbiyot oldidagi dolzarb vazifalardan biri bo'lib hisoblanadi. Zamonaviy maktab o'quvchilarining morfofunktsional (antropometrik) ko'rsatkichlarini o'rganish, birinchi navbatda, ularning sihat-salomatligi hamda aqliy va jismoniy faoliyatlarini qoniqarli darajada amalga oshirishlari uchun xizmat qiladi. Bu masala hozirgi kunda

yurtimizda va dunyo miqyosidagi dolzarb vazifalardan biridir. Ayniqsa, bolalar va o'smirlar o'rtasida uchraydigan noinfeksion hamda noto'g'ri ovqatlanish bilan bog'liq kasalliklar, ularni oldini olish, bolalarda qad-qomat shakllanishining buzilishi va boshqalar fiziologiya va tibbiyot oldidagi muhim ilmiy-nazariy masalalardan biri bo'lib hisoblanadi. Xususan, tana vazni, bo'y uzunligi, ko'krak qafasi aylanasi va boshqalar bolalarning me'yoriy jismoniy rivojlanishi hamda ijtimoiy-iqtisodiy holatini belgilaydigan asosiy ko'rsatkichlar qatoriga kiradi [10,11]

Tadqiqot metodologiyasi. Kuzatuvlarimiz davomida boshlang'ich sinf o'quvchilarning ayrim antropometrik ko'rsatkichlarini o'rganishga harakat qildik. Tadqiqotlar Qashqadaryo viloyatining ayrim qishloq maktablarida tahsil olayotgan 7-10 yoshli 117 nafar (shundan 52 nafari o'g'il bolalar, 65 nafari qiz bolalar) boshlang'ich sinf o'quvchilari orasida o'tkazildi. O'quvchilarning jismoniy taraqqiyoti antropometrik usullar yordamida o'rganildi [9]. Tana vazni tibbiyot tarozisi (PORODO model: PD-BF1321BT-WH Xitoy 2020 yil), bo'y uzunligi yog'och rostomer (Rossiya, 2019) va ko'krak qafasi aylanasi santimetrli lenta (Xitoy, 2019) yordamida aniqlandi. Olingan natijalar MS Excel va Origin 6.1 dasturlari yordamida statistik tahlil qilindi. O'rtacha arifmetik qiymat (M), o'rtacha xatolik (m) va kvadrat og'ish qiymatlari (SD) hisoblandi.

Natijalar va muhokama. Boshlang'ich sinf o'quvchilarining tana vazni, bo'y uzunligi, ko'krak qafasi aylanasi va boshqa ayrim somatometrik ko'rsatkichlariga ular yashaydigan muhit, kundalik ovqatlanish, aqliy va jismoniy yuklamalar, o'z navbatida, kun tartibini qanday tashkil etish holati ham tegishli darajada ta'sir ko'rsatadi. Bolalarda me'yoriy-fiziologik holatni baholashda ishlatiladigan muhim ko'rsatkichlardan biri ularning jismoniy taraqqiyoti bo'lib, bu o'sib kelayotgan yosh avlodning salomatligini belgilashda ham xizmat qiladi. Bu esa, o'z navbatida, bolalarning jismoniy rivojlanishi hamda ayrim antropometrik ko'rsatkichlarining pasayishiga ham sabab bo'lmoqda. Bu borada bolalarning antropometrik ko'rsatkichlari, bo'yi, vazni, ko'krak qafasi aylanasi hamda tana tuzilishi, ularning jismoniy taraqqiyotini tavsiflashda ko'proq ma'lumot beradi. Shu munosabat bilan kichik maktab yoshidagi bolalarning morfofunksional ko'rsatkichlarini o'rganish va tahlil qilish dolzarb vazifalardan biri bo'lib hisoblanadi.

Kuzatuvlar davomida 7-10 yoshli o'quvchilarning ayrim antropometrik ko'rsatkichlari, tana vazni, bo'y uzunligi, Kettle indeksi hamda ko'krak qafasi aylanasi o'rganish natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Boshlang'ich sinf o'quvchilarining ayrim antropometrik ko'rsatkichlari (n=117, 2021-yil)

Yosh guruh- lari	Tana vazni, kg		Bo'y uzunligi, m		Kettle indeksi, kg/m ²		KQA, sm	
	M±m	Me'yor	M±m	Me'yor	M±m	Me'yor	M±m	Me'yor
O'g'il bolalar								
7-yosh (n=6)	22,4±0,74	22,6±0,2	124±0,02	120±0,4	14,48±0,35	16	62,6±1,50	58,6±0,3
8 yosh (n=16)	25,5±0,78	25,0±0,3	129±0,01	125,2±0,3	15,22±0,37	16	65,31±1,1 6	60±0,3
9 yosh (n=11)	31,2±1,50	26,3±0,3	139±0,01	128,1±0,5	16,08±0,46	17	69,36±1,4 7	60,9±0,3
10 yosh (n=19)	34,26±1,5 5	31,1±0,4	144±0,01	135,6±0,5	16,32±0,61	17	70,36±1,2 0	64,0±0,4
Qiz bolalar								
7-yosh (n=5)	23,3±0,80	22,0±0,3	126±0,01	118,5±0,5	14,57±0,57	16	65,1±0,74	56,8±0,3
8 yosh (n=16)	24,3±0,69	23,6±0,3	130±0,01	122,7±0,4	14,46±0,33	16	64,12±0,8 9	58,4±0,3
9 yosh (n=25)	26,16±0,7 6	26,0±0,3	135±0,01	128,5±0,3	14,23±0,36	17	65,24±0,6 4	59,5±0,3
10 yosh (n=19)	35,5±1,44	30,2±0,4	146±0,001	134,2±0,5	16,39±0,59	17	70±1,22	62,0±0,4

Yuqoridagi jadvalda ko'rinib turganidek o'quvchilarning jismoniy rivojlanish

ko'rsatkichlari mavjud standartlardan aytarli darajada farq qilmaydi. 7 yoshli o'g'il bolalarning tana vazni o'rtacha $22,4 \pm 0,74$ kg, bo'y uzunligi $124 \pm 0,02$ sm va ko'krak qafasi aylanasi esa $62,6 \pm 1,5$ sm ni tashkil qiladi. Kettle indeksi meyoridagi 16 kg/m^2 o'rniga $14,48 \pm 0,35 \text{ kg/m}^2$ ga teng bo'lib, bu meyorga nisbatan o'rtacha 7-11% gacha kamligini ko'rish mumkin. Shuningdek 8 yoshli bolalarda ham shunga yaqin natijalar qayd qilindi.

9-10 yoshli bolalarning tana vazni va bo'y uzunligi ko'rsatkichlari meyor raqamlariga nisbatan tegishli holda 10,2-18,6% va 6,2-8,5% gacha ziyodligini ko'rish mumkin. Kettle indeksi 9 yoshli bolalarda $16,08 \pm 0,46 \text{ kg/m}^2$ va 10 yoshlilarda esa $16,32 \pm 0,61 \text{ kg/m}^2$ ga teng bo'lib, meyoridagi 17 kg/m^2 ga nisbatan o'rtacha 4,5-5,5% gacha kamligi qayd qilindi. Bundan ko'rinib turibdiki 7-10 yoshli o'g'il bolalarda yosh ortishi bilan ularning tana vazni va bo'y uzunligi ko'rsatkichlari yoshga bog'liq holda o'sib boradi. Buni ularning tanasida kechadigan fiziologik va biokimyoviy jarayonlar, yashash muhiti, turmush tarzi va boshqa omillarga bog'liqligi bilan izohlash mumkin.

7-10 yoshli qiz bolalarda tana vazni, bo'y uzunligi, Kettle indeksi hamda ko'krak qafasi aylanasi ko'rsatkichlari ham ular uchun tavsiya qilingan meyorlardan tegishli darajada farq qiladi. Xususan, 7 yoshli qizlarning tana vazni meyoridagi $22,0 \pm 0,3$ kg o'rniga o'rtacha $23,3 \pm 0,80$ kg ni, bo'y uzunligi esa $118,5 \pm 0,5$ cm o'rniga $126 \pm 0,01$ cm ni tashkil qiladi. Kettle indeksi $14,57 \pm 0,57 \text{ kg/m}^2$ ga teng bo'lib, bu me'yorga nisbatan o'rtacha 6,3-9,1% gacha oshganligini ko'rsatadi. Ko'krak qafasi aylanasi esa me'yorga nisbatan o'rtacha 14,6% ga ziyodligi qayd qilindi. 8 yoshli qiz bolalarda tana vazni va bo'y uzunligi tegishli holda o'rtacha $24,3 \pm 0,69$ kg va $130 \pm 0,01$ cm ga teng bo'lib, bu ko'rsatkichlar me'yorga nisbatan tana vaznida aytarli darajada farq kuzatilmasada, bo'y uzunligiga nisbatan o'rtacha 5-10% gacha ziyodligi ko'zga tashlanadi. Kettle indeksiga nisbatan yuqoridagi tendensiya kuzatildi. 9 yoshli qizlarda tana vazni me'yordagi ko'rsatkichlardan aytarli darajada farq qilmaydi, ammo bo'y uzunligida esa me'yorga nisbatan 4,7-6,5 cm gacha ziyodligini ko'rish mumkin. Lekin Kettle indeksi o'rtacha $14,23 \pm 0,36 \text{ kg/m}^2$ ga teng bo'lib, bu ko'rsatkich tegishli me'yorning o'rtacha 83,7% ni tashkil qiladi. Shuningdek, ko'krak qafasi aylanasi esa me'yorga nisbatan o'rtacha 9,6% ga yoki 5,7 cm ga ko'pligi yuqoridagi jadvalda yaqqol ko'rinib turibdi. 10 yoshli qizlarda tana vazni me'yoridagi $30,2 \pm 0,4$ kg o'rniga $35,5 \pm 1,44$ kg ni, bo'y uzunligi esa $134,2 \pm 0,5$ cm o'rniga $146 \pm 0,001$ cm ni tashkil qiladi. Bundan ko'rinib turibdiki, shu yoshdagi qizlarning tana vazni va bo'y uzunligi ko'rsatkichlarining o'sish darajasi boshqa yosh guruhlari va mavjud standartlarga nisbatan ziyodligi bilan ajralib turadi. Xuddi shuningdek, ko'krak qafasi aylanasi ham me'yorga nisbatan o'rtacha 8,3-12,9% gacha ko'pligini qayd qilish mumkin. Bunday holat bolalar hayotidagi prepubertat va pubertat davrlarga bog'liqligi, ular tanasida kuzatiladigan somatik va psixofiziologik jarayonlarning o'zgarishi bilan tushuntiriladi.

Xulosa va takliflar. Xulosa o'rnida shuni aytish mumkinki, o'quvchilarning ayrim jismoniy rivojlanish ko'rsatkichlari tana vazni, bo'y uzunligi, Kettle indeksi va ko'krak qafasi aylanasi mavjud standartlarga mos kelmaydi. Xususan, 7-8 yoshlilarda yuqorida qayd qilingan ko'rsatkichlar me'yorga nisbatan aytarli darajada farq kuzatilmaydi. 9-10 yoshli o'g'il va ayniqsa, qiz bolalarda bo'y uzunligi, ko'krak qafasi aylanasi hamda Kettle indeksi me'yorga nisbatan yuqoriligi bilan ajralib turadi. Bunday holat bolalar hayotidagi balog'atga yetish oldi davri, ular tomonidan bajariladigan aqliy va jismoniy yuklamalar ko'lam, oilada va maktabda kun tartibini qanday darajada tashkil qilinishi va boshqa jihatlar bilan tushuntiriladi.

O'quvchilarning jismoniy taraqqiyotini doimiy ravishda o'rganib borish ularning salomatligini yanada mustahkamlashda muhim qadamlardan biri bo'lib hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 30 oktabrdagi PF-6099-son "Sog'lom turmush tarzini keng tatbiq etish va ommaviy sportni yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi Qarori. Toshkent. Yangi O'zbekiston, 2020-yil., № 210 (210), - 1-2 betlar.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 10 noyabrdagi PQ-4887-son qarori "Aholining sog'lom ovqatlanishini ta'minlash bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlari to'g'risida" gi Qarori. Toshkent. Yangi O'zbekiston, 2020-yil., № 3.- 1-3 betlar.
3. O'zbekiston Respublikasi aholisining yoshiga, jinsiga va kasbiy faoliyati guruhlari uchun sog'lom ovqatlanishni ta'minlashga qaratilgan o'rtacha kunlik ratsional ovqatlanish normativlari. Texnikaviy shartlar (SanQvaM №000-20). O'zbekiston Respublikasi sanitariya-epidemiologik o'soyishtalik va jamoat salomatligi xizmatining Qarori. Toshkent, 2020-yil., № 3.- 1-2 betlar
4. Жданова О.А. Сравнительная характеристика показателей физического развития детей Воронежской области в 1997-1999 и 2011-2014 гг. // Российский вестник перинатологии и педиатрии, 2017; 62 (1) - С. 87-93.
5. Кильдиярова Р.Р. Оценка физиического развития детей с помощью перцентильных диаграмм. // Вопросы современной педиатрии. 2017. – Том 16, № 5. - С.431-437.
6. Латышевская Н.И., Рудыкина В.Н. Особенности физического развития младших школьников, проживающих в сельской местности // Вестник ВолгГМУ-. №2(62), 2017. - С. 71-73.
7. Ураимова А.А., Касымов О.Т. Оценка физического развития учащихся школ сельской местности с разной формой организации общественного питания // Internationaljournalofappliedandfundamentalresearch. №3, 2020, С. 22-28.
8. Цукарева Е.А., Авчинников А.В., Алимова И.Л. Оценка физического развития и режима питания детей младшего школьного возраста, проживающих в Смоленске Вопросы питания. Том 88, № 4, 2019., – 87 с.
9. Камилова Р.Т. Унифицированная методика исследования и оценки физического развития детей и подростков. – Ташкент: Абу Али ибн Сина, 1996. – 103 с.
10. Rakhmatullayev Y., Kurbanov A.Sh., Hazratova H.N. Physical Development of Rural and Urban School Children and its Comparative Characteristics. Annals of R.S.C.B., ISSN:1583-6258, Vj1.25, Issue 4, 2021, Pages.7603-7608 Received 05 March 2021; Accepted 01 April 2021.
11. Hazratova H.N., Kurbanov Sh.K., Rakhmatullayev Y.Sh., Buranova G.B. Physical Development of Primary Class Students. Central asian journal of medial and natural sciences. Vol:04 Issue:05. Sep-Oct. 2023 ISSN: 2660-4159. 330-331 p.

QARSHI VA TERMIZ SHAHAR MAKTABLARI O'QUVCHILARNING AYRIM ANTROPOMETRIK KO'RSATKICHLARINI QIYOSIY XARAKTERISTIKASI**Avliyoqulova Musharraf Baxtiyorovna**

Qarshi davlat universiteti Fiziologiya kafedrası o'qituvchisi.

musharrafavliyoqulova87@gmail.com,

ORCID 0009-0005-0586-7927

Jangabayeva Ramash Kayirbergenovna

Berdak nomidagi Qoraqalpoq Davlat universiteti tayanch doktoranti

Raxmatullayev Yorqin Shokirovich

Qarshi davlat universiteti Fiziologiya kafedrası dotsenti

rakhmatullayev.e@mail.ru

ORCID 0000-0001-8214-7396

UDK 574/577+572.79+613.2

Annotatsiya. Ushbu maqola Respublikamizning janubiy viloyatlaridagi Qarshi va Termiz shaharlarida tahsil olayotgan 7-17 yoshli o'quvchi-qizlarning tana vazni, bo'y uzunligi, Kettle indeksi hamda ko'krak qafasi aylanasi ko'rsatkichlarining qiyosiy xarakteristikasini o'rganishga bag'ishlangan. Olingan natijalarga ko'ra, ikkala shaharlarda yashaydigan qizlarning tana vazni, ko'krak qafasi aylanasi va Kettle indeksida tegishli farqlar aniqlangan. Xususan, Termiz shahridagi 9 yoshli qizlarning tana vazni Qarshidagiga nisbatan 7,25 kg ga, 11 yoshli qizlarda esa o'rtacha 9,23 kg ga ziyod. Shu bilan birga 13 yoshlilarda esa Qarshi shahridagi qizlarning tana vazni Termizdagilarda o'rtacha 5,9 kg ga kamligi kuzatildi. Ko'krak qafasi aylanasi ko'rsatkichlari 7-11 yoshli qizlarda Qarshi shahridagiga nisbatan Termiz shahrida o'rtacha 2,4-7,61 sm gacha yuqori, 12-14 yoshda esa aksincha, Termizdagilarga nisbatan Qarshidagi qizlarda bu ko'rsatkich 3,06-8,93 sm ga ziyod hamda 15-17 yoshli qizlarda yana Termiz shahri bo'yicha olingan natijalar 5,5-6,3 sm gacha yuqoriligi aniqlangan. Shu bilan bir qatorda 7-17 yoshli qizlarning Kettle indeksi bir-biriga taqqoslanganda 7-8 va 11 yoshli o'quvchilarda Qarshi shahriga nisbatan Termiz shahrida o'rtacha 8,3-11,8% gacha yuqoriligi qayd etilgan.

Kalit soʻzlar: antropometrik koʻrsatkichlar, shahar maktabi oʻquvchilari, 7-17 yoshli qizlar, tana vazni, boʻy uzunligi, koʻkrak qafasi aylanasi, Kettle indeksi.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF CERTAIN ANTHROPOMETRIC INDICATORS OF SCHOOLCHILDREN IN THE CITIES OF KARSHI AND TERMEZ

Annotation. This article is dedicated to studying the comparative characteristics of body weight, height, Body Mass Index (BMI), and chest circumference indicators among schoolgirls aged 7 to 17 studying in the cities of Karshi and Termez, located in the southern regions of our Republic. According to the obtained results, significant differences were identified in the body weight, chest circumference, and BMI of girls living in both cities. In particular, the body weight of 9-year-old girls in Termez is 7,25 kg higher than that of their peers in Karshi, and for 11-year-old girls, it is on average 9,23 kg greater. On the other hand, 13-year-old girls in Karshi were found to have an average body weight 5,9 kg lower than those in Termez. Chest circumference measurements among 7-11-year-old girls were found to be 2,4-7,61 cm higher on average in Termez compared to Karshi. However, in the 12-14 age group, girls in Karshi had chest circumferences that were 3,06-8,93 cm larger than those in Termez. Among girls aged 15-17, the measurements in Termez were again higher by 5,5-6,3 cm. Additionally, when comparing the BMI of girls aged 7 to 17, it was recorded that for 7-8 and 11-year-old students, the BMI in Termez was on average 8,3-11,8% higher than that in Karshi.

Key words: anthropometric indicators, urban school students, girls aged 7 to 17, body mass, height, chest circumference, Kettle index

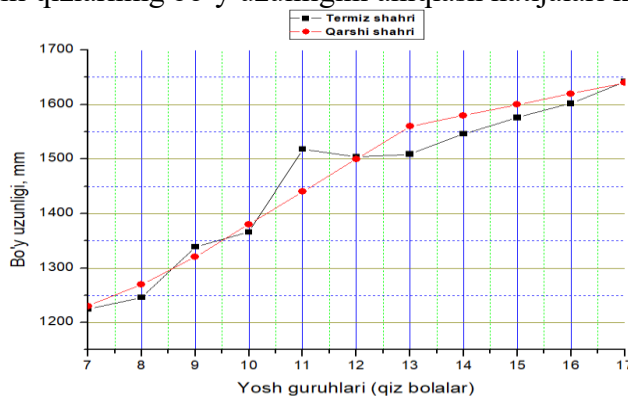
Kirish. Maʼlumki, bolalar va oʻsmirlarning jismoniy taraqqiyoti, chidamliligi, aqliy hamda jismoniy mehnat qobiliyati, yashash sharoiti va ularning turli muhit omillariga moslashishi har bir organizmning individual fiziologik xususiyatlariga uzviy bogʻliq boʻldi. Shu bilan birga hozirgi kunda turli sohalarida amalga oshirilayotgan islohotlar taʼlim muassasalarida tahsil olayotgan oʻquvchilar, taʼlim ishtirokchilari, jamiyatimizning turli boʻgʻinlarida faoliyat koʻrsatib kelayotgan kishilar oldiga bu oʻzgarishlar bilan bogʻliq vazifalarni bajarishni taqazo etadi. Oʻz navbatida oʻsib kelayotgan yosh avlod har bir mamlakatning kelajagini belgilash uchun xizmat qiladi [1-5].

Adabiyotlarda keltirilgan maʼlumotlarga koʻra, bolalar va oʻsmirlarning sihat-salomatligiga, ularning jismoniy rivojlanishiga hamda boshqa hayot sifati koʻrsatkichlariga turli omillar oʻz taʼsirini koʻrsatmoqda. Xususan, qiz bolalar oʻrtasida tana vazni yetishmasligi yoki ortiqcha vazn, notoʻgʻri ovqatlanish, sogʻlom turmush tarziga oid tushuncha va bilimlarning kamligi hamda boshqa faktorlar ular oʻrtasida davr xastaliklarini shakllanishiga sabab boʻlib qolmoqda. [3, 6, 8, 9-14]. Antropometrik koʻrsatkichlar aksariyat hollarda bolalarning, ayniqsa qizlarning salomatligi, ularning uygʻun rivojlanishi, reproduktiv xususiyatlari hamda boshqa koʻrsatkichlarini kompleks baholashda asosiy mezonlardan biri boʻlib hisoblanadi. [7]. Jismoniy taraqqiyot koʻrsatkichlarini baholash bolalar va oʻsmirlar populyatsiyasida oʻsishning jadallashishi yoki sekinlashishi, suyak tarkibining oʻzgarishi va muskullar massasining kamayishi kabi holatlar haqida xulosa qilishga imkon yaratadi. Koʻp sonli tadqiqotchilar tomonidan olingan natijalarning koʻrsatishicha, bolalarning boʻyi va tana ogʻirligi XX asr oxiriga nisbatan ortgan [7, 8], ular ratsionida yuqori kaloriyali oziq-ovqatlarni koʻpligi hamda kamharakatlilik bois ortiqcha vaznni yuzaga kelishi va tarqalishi kuzatilmoqda [9-12]. Shuningdek, ularda biologik rivojlanish darajasining nisbatan tezlashganligi ham qayd etilmoqda [11, 12]. Vaholangki, bolalar va oʻsmirlarning jismoniy taraqqiyotini tizimli ravishda oʻrganish hamda tegishli xulosalarga kelish fiziologiya va tibbiyot oldidagi dolzarb vazifalardan biri boʻlib hisoblanadi.

Yuqoridagi fikrlarni inobatga olib, biz oʻz kuzatuvlarimiz davomida 7-17 yoshli oʻquvchi qizlarning antropometrik koʻrsatkichlarini aniqlashni maqsad qilib oldik.

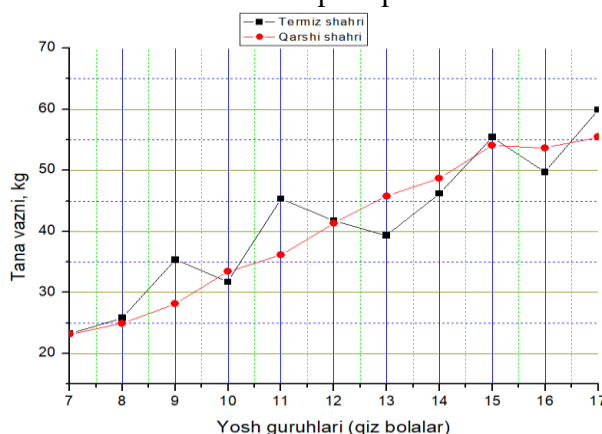
Tadqiqot metodologiyasi. Kuzatuvlar 2024-yilning noyabr-dekabr oylarida Qashqadaryo viloyatining Qarshi shahridagi 26-maktab (499 nafar) hamda Surxondaryo viloyatining Termiz shahridagi 9-maktablarida (148 nafar) tahsil olayotgan jami 647 nafar 7-17 yoshli qiz bolalar o'rtasida o'tkazildi. O'quvchilarning bo'y uzunligi, tana massasi hamda ko'krak qafasi aylanasi ko'rsatkichlari somatometrik usullar yordamida aniqlandi [5-7].

Natijalar va muhokama. O'quvchi-qizlarning ayrim antropometrik ko'rsatkichlarini o'rganish natijalari shuni ko'rsatadiki, ularning bo'y uzunligi, tana vazni, Kettle indeksi hamda ko'krak qafasi aylanasi o'lchamlari mavjud standartlarga to'la mos kelmaydi. Jumladan, bu ko'rsatkichlar o'rtasida o'quvchilarning yoshi ortib borishi bilan bog'liq o'zgarishlarni ham qayd etish mumkin. Quyidagi rasmda Qarshi va Termiz shahridagi 7-17 yoshli qizlarning bo'y uzunligini aniqlash natijalari keltirilgan.



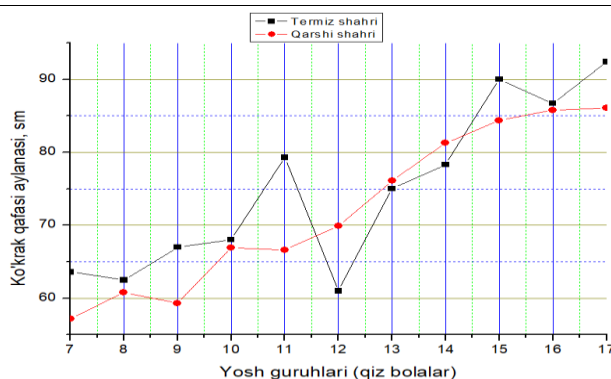
1-rasm. O'quvchilarda bo'y uzunligining yoshga bog'liq dinamikasi

7-17 yoshli qizlarning bo'y uzunligini aniqlash bo'yicha olingan o'rtacha natijalar yuqoridagi rasmda ko'rinib turganidek ikkala shahar maktablari o'quvchilarining qayd etilgan ko'rsatkichlarida farq kuzatilmadi. Jumladan Qarshi shahridagi 7 yoshli qizlarda bo'y uzunligi o'rtacha $1,23 \pm 1,02$ m ni, Termizda esa $1,22 \pm 0,01$ m ni tashkil etadi. 8 yoshli qizlarda tegishli holda $1,27 \pm 0,72$ va $1,24 \pm 0,01$ m, 9 yoshda $1,32 \pm 0,72$ va $1,33 \pm 0,04$ m, 10 yoshda $1,38 \pm 1,01$ va $1,36 \pm 0,02$ m, 11 yoshda $1,44 \pm 1,06$ va $1,51 \pm 0,02$ m, 12 yoshda $1,50 \pm 0,81$ va $1,50 \pm 0,02$ m, 13 yoshda $1,56 \pm 0,66$ va $1,50 \pm 0,01$ m, 14 yoshda $1,58 \pm 0,97$ va $1,54 \pm 0,08$ m, 15 yoshda $1,60 \pm 1,12$ va $1,57 \pm 0,01$ m, 16 yoshda $1,62 \pm 1,18$ va $1,60 \pm 0,01$ m hamda 17 yoshda esa tegishli holda $1,64 \pm 1,10$ va $1,64 \pm 0,01$ m ga teng bo'lib, bu ko'rsatkichlar o'rtasida statistik ishonarli farq aniqlanmadi.



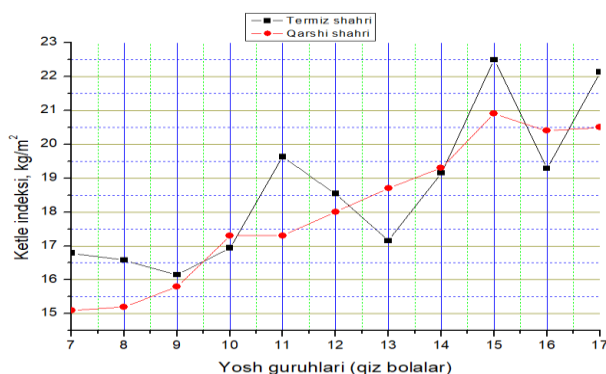
2-rasm. O'quvchilarda tana vaznining yoshga bog'liq dinamikasi

Kuzatuvlar davomida 7-17 yoshli qizlarning tana vazni ko'rsatkichlarini o'rganish natijalari shuni ko'rsatadiki, Termiz shahridagi 9 yoshli qizlarning tana vazni Qarshidagiga nisbatan 7,25 kg ga, 11 yoshli qizlarda esa o'rtacha 9,23 kg ga ziyod. Shu bilan birga 13 yoshlilarda esa Qarshi shahridagi qizlarning tana vazni Termizdagilarda o'rtacha 5,9 kg ga kamligi kuzatildi (2-rasm).



3-rasm. O'quvchilarda ko'krak qafasi aylanasi yoshga bog'liq dinamikasi

O'quvchilarning ko'krak qafasi aylanasi ko'rsatkichlari bo'yicha olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, 7-11 yoshli qizlarda Qarshi shahridagiga nisbatan Termiz shahrida o'rtacha 2,4-7,61 sm gacha yuqori, 12-14 yoshda esa aksincha, Termizdagilarga nisbatan Qarshidagi qizlarda bu ko'rsatkich 3,06-8,93 sm ga ziyod hamda 15-17 yoshli qizlarda yana Termiz shahri bo'yicha olingan natijalar 5,5-6,3 sm gacha yuqoriligi aniqlandi. Bunday holatni qizlar organizmida yoshga bog'liq holda yuzaga keladigan individual o'zgarishlar bilan izohlash mumkin.



4-rasm. O'quvchilarda Kettle indeksining yoshga bog'liq dinamikasi

Jismoniy taraqqiyot ko'rsatkichlarini tahlil qilishda, ayniqsa vazn-bo'y nisbatini o'rganishda Kettle indeksidan foydalaniladi. Bu tanadagi yog' miqdorining foiz ko'rsatkichini ifodalash uchun xizmat qiladi. Odatda uning me'yoriy chegarasi o'rtacha 18,5 dan 25,0 kg/m² gacha bo'ladi. Biz olgan natijalarda bu ko'rsatkich o'rganilgan yosh guruhlarida me'yoridan chetga chiqmaydi. Shu bilan bir qatorda 7-17 yoshli qizlarning Kettle indeksi bir-biriga taqqoslanganda 7-8 va 11 yoshli o'quvchilarda Qarshi shahriga nisbatan Termiz shahrida o'rtacha 8,3-11,8% gacha yuqoriligi qayd etildi.

O'z navbatida yana shu narsani ham alohida qayd etish kerakki, kichik maktab yoshidagi qizlarda katta maktab yoshidagilarga nisbatan ular organizmida sodir bo'ladigan gormonal o'zgarishlar bilan tegishli darajada farq qiladi. Ya'ni yuqori sinf o'quvchilarida balog'at yoshining keyingi davrlariga to'g'ri kelganligi bois ular organizmida sifat ko'rsatkichlari boshlang'ich sinfdagilardan ajralib turadi.

Xulosa va takliflar. Qarshi va Termiz shahridagi 7-17 yoshli qizlarning ayrim antropometrik ko'rsatkichlarini o'rganish bo'yicha olingan natijalardan shunday xulosaga kelish mumkinki, qayd etilgan janubiy viloyat shaharlaridagi maktab o'quvchilarining o'sishi va rivojlanishiga ular istiqomat qiladigan tegishli sharoit, ularning kundalik turmush tarzi, atrof-muhitning turli-tuman omillari hamda o'quv jarayonlari bilan bog'liq holatlarining ta'siri bo'lishi mumkin. Shu bois ularning antropometrik ko'rsatkichlarini tizimli ravishda tekshirish va tegishli natijalarni tahlil qilib borish bu boradagi masalalarni yechimini topishda alohida xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги “2022 - 2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида” ги ПФ-60 сон Фармони <https://lex.uz/docs>

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2024 йил 21 февралдаги «Ўзбекистон - 2030» стратегиясини «Ёшлар ва бизнесни қўллаб-қувватлаш йили»да амалга оширишга оид давлат дастури тўғрисида» ги ПФ-37 сон Фармони <https://www.lex.uz/docs/6811936>
3. Березин И.И. Сазонова О.В. Гаврюшин М.Ю. Сравнительный анализ антропометрических показателей физического развития школьников городов Самара и Пенза // Наука и инновации в медицине. – 2016. Т.1. – С. 25-30.
4. Грицинская В.Л., Никитина И.Л., Соматометрические показатели физического развития школьников г.Санкт-Петербурга //Российский Вестник перинатологии и педиатрии. – 2018. №63(1). – С. 66-70.
5. Камилова Р.Т., Исакова Л.И и др. Оценка физического развития и пищевого статуса детей Узбекистана. Метод. рекомендации (утв. МЗ РУз №012-3/334 от 18.09.2018 г.). Ташкент, 2018. 83 с.
6. Ляликов, С. А. Регионарные особенности физического развития детей и подростков Беларуси / С. А. Ляликов, С. Д. Орехов // Экологическая антропология. - Минск-Люблин-Лодзь, 1997. - С. 99-103.
7. Негашева М.А. Основы антропометрии: учебное пособие. – М.: Изд-во «Экон-Информ», 2017. – 216 с.
8. Скоблина Н.А., Кучма В.Р., Милушкина О.Ю., Бокарева Н.А. Современные тенденции физического развития детей и подростков // Здоровье населения и среда обитания. – 2013. №8 (245). – С. 9-12.
9. Чермит К.Д., Тугуз А.Р., Петрова Т.Г., Заболотный А.Г. Возрастные изменения показателей гармоничности физического развития на отрезке восходящего онтогенеза 11-19 лет в зависимости от уровня двигательной активности //Современные вопросы биомедицины. - 2022. - Т.6. - №2. DOI: 10.51871/2588-0500-2022-06-02-16.
10. Чешик И.А., Мельнов С.Б. Характеристика основных антропометрических показателей мальчиков 7-17 лет //Проблемы здоровья и экологии. – 2007. – С. 79-85.
11. Березин И.И., Гаврюшин М.Ю. Современные тенденции физического развития школьников г. Самары. Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья.2016;2:17-23.
12. Сухарева Л.М., Намазова-Баранова Л.С. Рапопорт И.К., Звездина И.В. Динамика заболеваемости московских школьников в процессе получения основного общего образования. Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2013; 3:18-26.
13. Ибрагимова Е.М., Шубочкина Е.И. Состояние здоровья имедико-социальные особенности подростков, обучающихся по разным программам профессиональной подготовки в колледжах. Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2013; 4:22-26.
14. Березин И.И., Русакова Н.В., Кретьева И.Г., Трифонова Е.А., Сидорова Е.Н. Комплексная оценка физического развития и состояния здоровья учащихся средних общеобразовательных учреждений города Самары. Известия Самарского научного центра РАН. 2010; 12;1(7):1802—1807.

O‘ZBEKISTONDA ALLERGEN ANEMOFIL TAKSONLAR HAMDA AEROPALINOLOGIYA BO‘YICHA TADQIQOTLAR VA DUNYO TAJIRIBASI

Yoziyev Lutfulla Habibullayevich

Turon universiteti, Biologiya fanlari doktori, professor

yoziyevl@mail.ru

ORCID 0000-0001-8209-3535

Kattaboyeva Gulnoza Safarovna

Qarshi davlat universiteti o‘qituvchisi

kattaboyevagulnoz@gmail.com

ORCID 0009-0009-5511-2222

Rabbimova Zilola Shuhrat qizi

Turon universiteti o‘qituvchisi

komronzilola1994@gmail.com

UDK 581.9:615.9(045)

Annotatsiya. Ushbu maqolada dunyo miqyosidagi allergen anemofil florani o‘rganish bo‘yicha amalga oshirilgan hamda aeropalinologik tadqiqotlarning xronologik rivojlanishining qiyosiy tahlili keltirilgan. Unda Shimoliy Amerika (asosan AQSH), Yevropa (Buyuk Britaniya, Germaniya, Fransiya, Polsha, Ispaniya va boshqalar), Rossiya, Avstraliya, Afrika, hamda Osiyo (Yaponiya, Xitoy, Hindiston), Markaziy Osiyo kabi geografik hududlar qamrab olingan. Aeropalinologiya sohasidagi tadqiqotlar jahon bo‘yicha turlicha bosqichlarda rivojlanib, Shimoliy Amerika va Yevropa yetakchi o‘rinni egallaganligi, Rossiya va Markaziy Osiyoda tadqiqotlar keyinroq boshlangan, ammo so‘nggi

yillarda rivojlanish sur'ati oshayotganligi, Sharqiy Osiyo mamlakatlari zamonaviy texnologiyalarni jadal qo'llashda yetakchilik qilayotganligi aniqlangan. O'zbekistonda aeropalinologiya so'nggi o'n yilliklarda rivojlanayotganligi, lekin ilmiy infratuzilma va raqamli monitoringni rivojlantirish zarurligi, jahon tajribasi O'zbekiston uchun katta imkoniyatlarni ochishi va sohani takomillashtirishda muhim o'rin tutishi to'g'risida xulosa qilingan.

Kalit so'zlar: anemofil, allergen, aeropalinologiya, gulchang, geografik hududlar, qiyosiy tahlil

Abstract. This article presents a comparative analysis of the chronological development of aeropalynological research and the study of allergenic anemophilous flora on a global scale. It covers geographic regions such as North America (primarily the USA), Europe (the United Kingdom, Germany, France, Poland, Spain, and others), Russia, Australia, Africa, as well as Asia (Japan, China, India) and Central Asia. It has been established that the development of aeropalynology varied across countries: North America and Europe have taken leading positions, whereas research in Russia and Central Asian countries began later, but the pace of development has increased in recent years. East Asian countries are actively applying modern technologies and are at the forefront of the field. In Uzbekistan, aeropalynology has started to develop over the past decades; however, there is a need to strengthen scientific infrastructure and implement digital monitoring systems. It is concluded that global experience opens up broad opportunities for Uzbekistan and plays a significant role in advancing this scientific field.

Keywords: anemophilous plants, allergens, aeropalynology, pollen, geographic regions, comparative analysis

Kirish. Bugungi kunda global iqlim o'zgarishi, atrof-muhitning ifloslanishi va allergik kasalliklar ko'payishi kabi muammolar inson salomatligi hamda ekologik barqarorlik uchun jiddiy tahdid solmoqda (1). Pollinoz – bu tananing o'simlik gulchanglariga sezgirligidan kelib chiqadigan allergik kasallik. Juda ko'p odamlar bu kasallikdan aziyat chekishadi. Masalan, Rossiya aholisining taxminan 20-30%, janubda - 25-30% va Krasnodar o'lkasida - 40% dan ko'prog'ida pollinoz uchraydi (2). Ushbu kasallikni oldini olish, diagnostika qilish, dori vositalari va davolash choralarini ishlab chiqish uchun dastlab hududlardagi anemofil florani, undagi allergen gulchang hosil qiladigan o'simliklar taksonomiyasini, ularni gullash fenologiyasini, havodagi allergen gulchanglar konsentratsiyasi dinamikasini o'rganish va molekulyar daraja tadqiqotlarni amalga oshirish zarur.

Aeropalinologiya – ya'ni atmosferadagi o'simlik gulchanglarini o'rganish sohasi – butun dunyoda muhim tadqiqot yo'nalishlaridan biriga aylanmoqda. Aeropalinologiya nafaqat allergik kasalliklarni oldini olish, balki agrometeorologiya, ekologiya va urbanistika kabi sohalarda ham katta ahamiyatga egadir (3, 4).

Jahon bo'ylab AQSH, Germaniya, Fransiya, Yaponiya, Polsha, Hindiston va boshqa ko'plab davlatlarda bu yo'nalishdagi ilmiy tadqiqotlar keng miqyosda va yuqori texnologik asosda amalga oshirilmoqda. Har bir mamlakat o'z tabiiy-iqlimiy sharoiti va ehtiyojlariga qarab maxsus gulchang monitoring tizimlarini joriy etgan. Masalan, Yevropa davlatlarida Pollen Monitoring Network, Yaponiyada Aeroallergen Monitoring sistemasi, AQShda National Allergy Bureau faoliyat yuritadi (5). Ushbu mamlakatlarda allergen anemofil florani o'rganish va aeropalinologik tadqiqotlar uzoq yillik ilmiy tajribaga ega bo'lib, yuqori texnologik uskunalar va zamonaviy tahlil usullari yordamida olib borilmoqda. O'zbekistonda esa bu yo'nalish keyingi yillarda shakllana boshlagan bo'lib, hali ham yetarlicha kompleks yondashuvga muhtoj.

Ushbu maqolada turli mamlakatlardagi allergen anemofil florani o'rganishga doir va aeropalinologik tadqiqotlar tahlil qilinib, ularning o'zaro umumiy va farqli jihatlari ko'rsatiladi. Maqolada asosiy e'tibor – dunyo tajribasini o'rganish orqali bu sohaning global rivojlanish tendensiyalari va ilmiy yondashuvlarini aniqlashga qaratilgan. Bu tahlil orqali kelajakdagi tadqiqotlar uchun ilmiy asos yaratish imkoni paydo bo'ladi.

Material va metodlar. Ushbu maqolada dunyo miqyosidagi aeropalinologik tadqiqotlarning xronologik rivojlanishi tahlil qilindi. Tadqiqot obyektlari sifatida quyidagi geografik hududlar qamrab olindi: Shimoliy Amerika (asosan AQSH),

Yevropa (Buyuk Britaniya, Germaniya, Fransiya, Polsha, Ispaniya va boshqalar), Rossiya, Avstraliya, Afrika, hamda Osiyo (Yaponiya, Xitoy, Hindiston) va Markaziy Osiyo mamlakatlari.

Ma'lumotlar manbalari sifatida so'nggi 125 yil ichida chop etilgan Scopus, Web of Science (WoS), PubMed bazalarida indekslangan maqolalar, monografiyalar, gulchang monitoring markazlari va agentliklari hisobotlaridan foydalanildi.

Tadqiqot metodologiyasi quyidagilarga asoslandi: xronologik tahlil — har bir mintaqada allergen anemofil florani o'rganish va aeropalinologiya sohasidagi ilk tadqiqotlardan to hozirgi kungacha bo'lgan ilmiy yutuqlar tartib bilan tasniflandi; qiyosiy tahlil – mintaqalar o'rtasidagi metodik, texnologik va tashkiliy jihatlar tahlil qilindi. Har bir hudud uchun ilmiy ma'lumotlar dastlabki tadqiqot sanasi, qo'llangan metodika, ishlatilgan asbob-uskunalar, muhim natijalar, hamda muvaffaqiyat va cheklovlar asosida xronologik tartibda 5 bosqichga bo'lindi va bosqichlarga nom berildi. Har bir hududdagi rivojlanish bosqichlari muddatiga ko'ra baholandi.

Natijalar va muhokama. Tadqiqot davomida 1900–2025 yillar oralig'ida Scopus, Web of Science, va PubMed bazalarida indekslangan maqolalar, shuningdek monografiyalar, gulchang monitoring markazlari va agentliklarning hisobotlari o'rganildi. Xronologik tahlil natijasida Shimoliy Amerika, Yevropa, Rossiya, Avstraliya, Afrika, Osiyo va Markaziy Osiyo mamlakatlarida allergen anemofil flora va aeropalinologiyaning rivojlanish bosqichlari quyidagicha shakllantirildi:

I-dastlabki bosqich – anemofil florani o'rganish, allergen anemofil o'simliklar va allergik kasalliklar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash davri;

II- tizimli tadqiqotlar bosqichi – gulchanglarni sodda usulda tutish, ularni identifikatsiya qilish orqali allergen gulchang tarqalish mavsumi va asosiy allergenlarni aniqlash davri;

III- jadal tadqiqotlar bosqichi – gulchang qopqoni, atlaslarni nashr etilishi va immunologik usullar davri;

IV- yuksalish va geografik kengayish bosqichi – III-bosqich tadqiqotlariga molekulyar biologiya metodlarining qo'shilishi va xalqaro hamkorlik davri;

V – zamonaviy metodlar va innovatsiyalar - raqamli monitoring va bashoratli modellar davri.

Shimoliy Amerika (AQSH) aeropalinologik tadqiqotlarda yetakchi mintaqa hisoblanadi. Bu yerda I-bosqich 1910-yillarda boshlangan bo'lsa, 1930–50 yillarda II-bosqichga, 1950–1980 yillarda III-bosqichga o'tilgan. XX asr oxiri XXI asr boshidan boshlab IV–V bosqichlar tezkorlik bilan rivojlandi. Bugungi kunda AQSHda molekulyar darajadagi allergen diagnostikasi, raqamli monitoring, real vaqtli bashorat modellari va sun'iy intellekt asosida ishlovchi tizimlar mavjud (6, 7, 8).

Jadval

Turli geografik hududlarda allergen anemofil taksonlarni aniqlash va aeropalinologiya tadqiqotlarining xronologik rivojlanish bosqichlari

Mamlakatlar	1900-1930	1930-1950	1950-1980	1980-1990	1990-2010	2010 - hozirgi kungacha
Shimoliy Amerika	I	II	III	IV	IV -V	IV-V
Yevropa	-	I- II	II-III	III	IV -V	IV -V
Rossiya	-	I	I-II-III	I-II- III	III-IV-V	IV -V
Sharqiy Osiyo	-	I	II	III- IV	III- IV -V	IV -V
Avstraliya	-	-	I-II	III- IV	III- IV	IV -V
Afrika	-	-	I	I-II	I-II-III	II- III-IV
Qozog'iston, Qirg'iziston	-	-	I	I-II	I-II	III- IV
O'zbekiston	-	-	I	I- II	I- II	I-II-III

Yevropa davlatlarida I-bosqich 1930-yilda boshlangan. 1950-yilgacha II- bosqich boshlangan, II- va III-bosqichlar 1960–1980 yillarda kuchaygan. 1990-yildan keyin IV-bosqichga o'tilgan bo'lib, ko'plab davlatlarda yillik gulchang atlaslari nashr qilingan. 2000-

yildan boshlab esa raqamli monitoring va bashorat tizimlari (V-bosqich) joriy etilgan (5, 9, 10, 11).

Rossiyada 1930-1950-yillarda dastlabki kuzatuvlar va flora ro'yxatlari (I-bosqich) shakllantirilgan, laboratoriya sharoitida mikroskopik tahlillar va mahalliy monitoring ishlari (II–III bosqichlar) 1950-1980 – yillarda amalga oshirilgan. 1980-1990 – yillarda II–III bosqichlar kengaygan, ayrim joylarda immunologik usullar sinov tariqasida qo'llanilgan. 1990-2010 – yillarda cheklangan bo'lsa-da, molekulyar tadqiqotlar va kompyuterli monitoring yo'lga qo'yilgan (III–IV–V bosqichlar). 2010–hozirgi kungacha IV–V bosqichlar rivojlanmoqda, ammo ayrim hududlarda metodik kamchiliklar mavjud (12, 13, 14).

Osiyo mamlakatlaridan Yaponiya, Xitoy, Hindistonda 1930-1950 – yillarda I-bosqich – fundamental floristik tadqiqotlar asosida boshlangan. II bosqich – anemofil o'simliklarning gullash fenologiyasi va allergen gulchanglar tarqalishining mavsumiy dinamikasi tahlillariga qaratilgan tadqiqotlar 1950-1980 – yillarda amalga oshirilgan. 1980-1990 – yillarda III–IV bosqich – molekulyar va immunologik usullar tatbiq etila boshlagan. 1990 yildan hozirgi kungacha IV–V bosqich – sun'iy intellekt asosidagi monitoring tizimlari va bashorat modellariga o'tilmoqda. Yaponiya va Xitoyda molekulyar metodlar asosida allergen o'simliklarni aniqlash va hududiy monitoring tizimlari mavjud (10, 15, 16, 17)

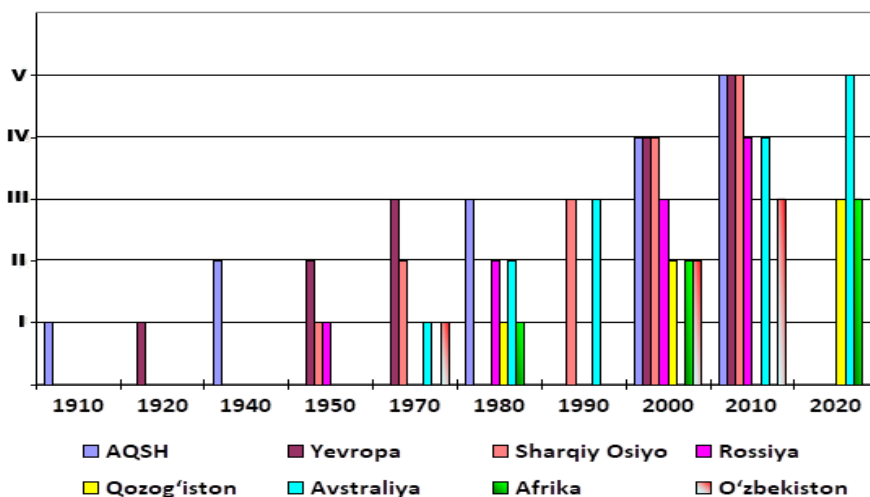
Avstraliya va Afrikada bu boradagi tadqiqotlar nisbatan kech boshlangan. Avstraliya V bosqichga yaqinlashgan bo'lsa, Afrikaning ko'pchilik hududlarida II–III bosqichda qolmoqda. Asosiy muammo — malakali mutaxassislar, texnik baza va barqaror monitoring tizimlarining yetishmasligi (18, 19, 20).

Qozog'iston va Qirg'izistonda 1950-1980 – yillarda I-bosqich – fundamental botanik izlanishlar asosidagi tadqiqotlar amalga oshirilgan. 1990-2010 – yillarda II bosqich – mavsumiy allergen monitoring ishlari yo'lga qo'yilgan. III-IV bosqich – zamonaviy laboratoriyalar tashkil etilgan, xalqaro maqolalar chop etila boshlangan (21, 22, 23).

O'zbekistonda anemofil flora va allergen o'simliklarni o'rganish II-bosqichda turibdi. Ayrim yirik shaharlarda (masalan, Toshkent, Samarqand) aeropalinologik monitoring ishlari yo'lga qo'yilgan bo'lsa-da, IV–V bosqichlarga o'tish uchun texnik va tashkiliy salohiyat cheklangan. Ammo so'nggi yillarda ilmiy faollik ortib bormoqda (23,).

Tadqiqot natijalariga ko'ra, aeropalinologiya sohasidagi rivojlanish bosqichlari mintaqalar bo'yicha sezilarli farqlarga ega ekanligi aniqlandi.

Shimoliy Amerika, ayniqsa AQSH, mazkur sohada ildamlilikni ko'rsatgan hudud sifatida ajralib turibdi (rasm). Bu yerda XX asrdan boshlab aniq tadqiqotlar olib borilgan, shu sababli ayni damda zamonaviy molekulyar biologiya va raqamli monitoring usullari keng qo'llanilmoqda. Bu mintaqada ilmiy infratuzilma, laboratoriyalar va xalqaro hamkorlik juda yuqori darajada rivojlangan.



Rasm. O'zbekistonda va xorijda aeropalinologiya rivojlanishining qiyosiy xronologiyasi

Yevropa mamlakatlarida 1930-yillardan boshlab anemofil florani aniqlash va monitoring ishlari tizimli yo'lga qo'yilgan. Yevropa mintaqasida ham aeropalinologiya tadqiqotlari 20 asr o'rtalarida tizimlashtirilgan va so'nggi 30 yil ichida molekulyar va raqamli texnologiyalarni joriy qilishda katta yutuqlarga erishilgan. Yevropa va

Shimoliy Amerika o'rtasidagi rivojlanish bosqichlari o'xshash bo'lib, ular xalqaro ilmiy almashinuv va texnologiyalarni joriy qilishda bir-biriga ta'sir ko'rsatgan.

Rossiya va Markaziy Osiyo mamlakatlari (xususan, Qozog'iston va Qirg'iziston)da aeropalinologiya tadqiqotlari asosan 1950-yillardan boshlab faollashgan. Ammo ularning ilmiy rivojlanishi Shimoliy Amerika va Yevropa bilan taqqoslaganda keyinroq va qisman cheklangan bo'lib qolgan. Rossiyada 1990-yillardan boshlab molekulyar usullar va xalqaro hamkorlik faollashgan bo'lsa-da, ba'zi mahalliy muammolar va resurs yetishmasligi ilmiy jarayonni sekinlashtirgan. Markaziy Osiyodagi mamlakatlarda esa tadqiqotlar jadal sur'atda rivojlanayotganiga qaramasdan, hali ham raqamli monitoring va yuqori texnologiyalar keng tarqalmagan.

Sharqiy Osiyo va (Yaponiya, Xitoy) Hindistonda aeropalinologiya tadqiqotlari 1930-yillarda boshlangan bo'lib, 1980-yillardan boshlab yuqori texnologiyalar, shu jumladan molekulyar biologiya va immunologiya usullari faol qo'llanila boshlagan. Xitoy, Yaponiya va Koreyada so'nggi yillarda raqamli monitoring va prognoz modellari tizimi joriy etilmoqda, bu mintaqani xalqaro miqyosda yetakchi hududlar qatoriga qo'yimoqda.

Avstraliya va Afrikada esa aeropalinologiya tadqiqotlari biroz kech boshlangan va ayniqsa Afrikada ushbu sohadagi tadqiqotlar hanuz chegaralangan. Avstraliyada 1950-yillardan boshlab tadqiqotlar amalga oshirila boshlagan bo'lsa, Afrikada ushbu jarayon so'nggi 30 yilda faollashgan. Bu mintaqalarda ham molekulyar va raqamli texnologiyalarni joriy etish bo'yicha harakatlar davom etmoqda.

O'zbekistonda aeropalinologiya tadqiqotlari boshlanishi 1950-yillarga to'g'ri keladi, ammo ilmiy tadqiqotlar tizimlashtirilishi va kengayishi so'nggi 20-30 yilda kuzatilmoqda. Buning sababi sifatida ilmiy infratuzilmaning yetishmasligi, malakali mutaxassislar sonining kamligi va zarur asbob-uskunalarining cheklanganligi ko'rsatilishi mumkin. Shu bilan birga, mahalliy iqlim va geografik sharoitlarga moslashgan, zamonaviy va integrativ tadqiqotlar olib borish uchun imkoniyatlar paydo bo'lmoqda.

Jahon tajribasidan kelib chiqib, O'zbekistonda aeropalinologiya sohasida yuqori texnologiyalar, xususan, molekulyar diagnostika, raqamli monitoring tizimlari va xalqaro hamkorlikni kuchaytirish muhim vazifa hisoblanadi. Bu esa nafaqat ilmiy salohiyatni oshirishga, balki allergik kasalliklarni profilaktika va davolashda samarali choralarini ishlab chiqishga ham xizmat qiladi.

Xulosa. Aeropalinologiya sohasidagi tadqiqotlar jahon bo'yicha turlicha bosqichlarda rivojlanib, Shimoliy Amerika va Yevropa yetakchi o'rinni egallaydi. Rossiya va Markaziy Osiyoda tadqiqotlar keyinroq boshlangan, ammo so'nggi yillarda rivojlanish sur'ati oshmoqda. Sharqiy Osiyo mamlakatlari zamonaviy texnologiyalarni jadal qo'llashda yetakchi hisoblanadi. Avstraliya va Afrikada esa soha hanuz rivojlanish bosqichida. O'zbekistonda aeropalinologiya so'nggi o'n yilliklarda rivojlanmoqda, lekin ilmiy infratuzilma va raqamli monitoringni rivojlantirish zarur. Jahon tajribasi O'zbekiston uchun katta imkoniyatlar ochadi va sohani takomillashtirishda muhim omil bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zink K. et al.. Modelling pollen dispersal with numerical weather prediction models: A feasibility study. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(5), -P. 691–705.
2. Аббасов А.Г. Клинико-эпидемиологическое изучение поллинозов г. Краснодара. Краснодар; 2003. - 18 с.
3. Croft B. et al. Influences of in-cloud aerosol scavenging parameterizations on aerosol concentrations and wet deposition in ECHAM5-HAM // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. V. 10. P. 1511–1543.
4. Пупышева С. А., Платунов А. Р. Важность аэропалинологического исследования территории города для современной медицины // *Студент. Наука. Регион.* – 2023. – №. 1. – С. 317-321.

5. Galán C. et al. Airborne pollen records response to climate in Córdoba, Spain. Grana, 2001, 40(1), 34–39.
6. Dunbar W.P. The present state of our knowledge of hay-fever //Epidemiology & Infection. – 1913. – Т. 13. – №. 2. – С. 105-148.
7. Scheppegegrell W. Data on Hay-Fever //Journal of the American Medical Association. – 1916. – Т. 66. – №. 15. – С. 1155-1155.
8. Lancia A. et al. Research progress on aerobiology in the last 30 years: A focus on methodology and occupational health //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 8. – С. 4337.
9. Gassner R.R. Studies on airborne pollen in Switzerland. Schweiz Z. Ges. Allerg. Immunol. 1930.
10. Singh AB, Mathur C. An aerobiological perspective in allergy and asthma. Asia Pac Allergy. 2012 Jul;2(3):210-22.
11. Damialis A. et al. Effects of environmental factors on pollen production in anemophilous woody species //Trees. – 2011. – Т. 25. – С. 253-264.
12. Вейн М.К. Пыльцевая аллергия в СССР. – Москва: Медгиз, 1935. — 120 с.
13. Мельникова А.В. Молекулярная аллергология и анаэмофильная флора России // Журнал аллергологии и клинической иммунологии. 2010. Т. 15, №4. С. 120–130.
14. Смирнова О.А., Иванов Д.В. Влияние климатических изменений на пылевой сезон // Экология и здоровье. 2018. №2. С. 50–60.
15. Nakamura C. et al. The relationship of polyunsaturated and monounsaturated fatty acids intake and serum concentrations on inhalant allergen sensitization and allergic rhinitis development //Allergy International. – 2025.
16. Thong B. Y. H. Aerobiology in Asian airway allergic diseases //Asia Pacific Allergy. – 2017. – Т. 7. – №. 3. – С. 119-120.
17. Singh A. B., Mathur C. Climate change and pollen allergy in India and South Asia //Immunology and Allergy Clinics. – 2021. – Т. 41. – №. 1. – С. 33-52.
18. Moss J. E. A flowering calendar of possible hay fever plants in Brisbane //Medical Journal of Australia. – 1967. – Т. 1. – №. 6. – С. 270-272.
19. Beggs P. et al. Australian airborne pollen and spore monitoring network interim standard and protocols. – 2018.
20. Ajikah L. B. et al. Meteorological influences on airborne pollen and spores in Johannesburg (Gauteng), South Africa //Aerobiologia. – 2023. – Т. 39. – №. 3. – С. 363-388.
21. Дикарева Т. В., Румянцев В. Ю., Щербакова В. В. Распространение аллергенных растений на территории России и Казахстана: проблемы изучения и некоторые результаты //Экосистемы: экология и динамика. – 2019. – Т. 3. – №. 4. – С. 99-132.
22. Kobzar V., Osmonbaeva K. Poaceae Pollen as the Leading Aeroallergen. – 2024.
23. Кобзарь В. Н., Осмонбаева К. Б. ТЕНДЕНЦИИ ПЫЛЬЦЫ AMARANTHACEAE В ВОЗДУХЕ //Бюллетень науки и практики. – 2024. – Т. 10. – №. 9. – С. 44-59.
24. Абдуллаев Х. Аэробиологические исследования. Ташкентский медицинский журнал, 1962.
25. Рахимов Ш. Пыльцевая флора и аллергия в Узбекистане. 1978.
26. Камалов Б. Исследование сезонных изменений пылевого фона в Самарканде. 1985.
27. Рахимова А. О некоторых аллергенных растениях города Ташкента (Узбекистан) //Академику ЛС Бергу–145 лет:. – 2021. – С. 206-209.
28. Sultanov R., Karimova M. Climate impact on pollen seasons in Uzbekistan. Central Asian Journal of Environmental Science, 2019.

**ATROF-MUHIT MUHOFAZASIDA EKOLOGIK TA'LIMNING
DOLZARBLIGI VA HUQUQIY JIHATLARI**

N.SH.Bazarova

Qarshi davlat universiteti, dotsent

nigorabazarova10@gmail.com

ORCID 0009000617050890

UDK 502.3

Annotatsiya. Mazkur maqolada Respublikamiz aholisining barcha qatlamida, ayniqsa, yoshlarda ekologik savodxonlikni oshirish masalasining muhimligi yoritilgan. Yosh avlodning ekologik madaniyatini shakllantirishda uzluksiz ekologik ta'lim-tarbiyani tizimli yo'lga qo'yish zarur ekanligi atroflicha bayon etilgan. Shuningdek, o'quv va tarbiya jarayonida talabalarda ekologik madaniyatni shakllantirish bilan bog'liq masalalarni qamrab olgan. Aholi jumladan, har bir fuqaroning ekologik madaniyatini yuksaltirish masalasi nihoyatda muhim ekanligi asoslab berilgan.

Aytish kerakki, butun dunyoda va mamlakatimizda ekologik muammolar tobora kuchayib borayotganini inobatga olgan holda ekologik ta'limning vaqti soati etib kelganligi va uni uzluksiz ta'limning barcha bug'unida o'qitishning maqsadga muvofiq ekanligi batafsil tushuntirib berilgan. Qolaversa, ekologik muammolar davlat siyosati darajasida ahamiyatga molik masala bo'lib, ushbu muammolarni hal etishda O'zbekiston Respublikasi Prezidenti va hukumatning qonun va qarorlariga tayanilgan.

Kalit so'zlar: atrof-muhit, ekologiya, ta'lim-tarbiya, ekologik ong, ekologik madaniyat, ekologik muammo, qaror, farmon, konsepsiya.

Annotation. This article emphasizes the importance of increasing environmental literacy of all segments of the population of our republic, especially among young people. It describes in detail that it is necessary to systematically establish continuous environmental education in order to form an environmental culture of the younger generation. It also covers issues related to the formation of environmental culture in students during the educational and upbringing process. It is substantiated that the issue of increasing the environmental culture of the population, including each citizen, is extremely important. It should be noted that, given the growing environmental problems in the world and in our country, the time has come for environmental education and the advisability of teaching it in all areas of continuous education is explained in detail. In addition, environmental problems are an important issue at the level of state policy, and the solution to these problems is based on laws and regulations of the President of the Republic of Uzbekistan and the government.

Key words: environment, ecology, education, environmental awareness, environmental culture, environmental problem, solution, decree, concept.

Kirish. So'ngi yillarda inson o'zining xo'jalik faoliyati tufayli tabiatga kuchli ta'sir o'tkazib, uning tabiiy muvozanatiga putur yetkazdi va bu jarayon davom etmoqda. Natijada havoning ifloslanishi, global iqlim o'zgarishi, toza suv tanqisligi, tuproq eroziyasi, tabiiy boyliklarning kamayib borishi va boshqa sabablar oqibatida iqtisodiy-ijtimoiy va ma'naviy muammolarni keltirib chiqardi. Bu muammolarni hal etishning asosiy yo'llaridan biri yosh avlodning ekologik bilimlarini oshirish va ularni tabiatga ongli munosabatda bo'lish ruhida tarbiyalashdir. Bu esa pedagoglar zimmasiga juda katta mas'uliyatli vazifalarni yuklaydi, chunki atrof-muhit holati ana shu yoshlarning kelgusidagi faoliyatiga bog'liq.

Mamlakatda yangilash, modernizatsiya va isloh etish jarayoni ketmoqda. Ushbu jarayon samarasi ko'p jihatdan madaniy saviyasi baland barkamol inson shaxsini shakllantirishga bog'liq. Zotan, ana shunday shaxsgina ijtimoiy taraqqiyot mo'ljallarini va millat manfaatlarini chuqur anglab yetadi, Vatan ravnaqi yo'lida xizmat qiladi. Davlatimiz ravnaqi va istiqboli, uning samaradorligi yuqori malakali, yuksak ma'naviyatli, aqlan yetuk, intellektual salohiyatli, taraqqiy etgan mamlakatlar darajasida raqobatbardosh mutaxassislar tayyorlash, barkamol avlodni shakllantirish muammosi bilan uzviy bog'liq.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqotda O'zbekiston Respublikasi hukumati va Prezidenti tomonidan qabul qilingan ekologik muammolarga bog'liq huquqiy hujjatlarga tayanilgan. Ekologik muammolarni hal qilish davlat siyosati, milliy qadriyatlar va uning ustuvorligiga hamda aholining ekologik madaniyatiga bog'liq. Buning uchun ilmiy, nazariy va amaliy darajalarda tegishli usullarni ishlab chiqish, ularni sinovdan o'tkazish va o'quv jarayoniga tatbiq etish talab etiladi.

Mamlakatimiz Prezidenti Sh.M.Mirziyoyevning Umumiy o'rta, o'rta maxsus va kasb-hunar ta'limi hamda oliy ta'lim tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risidagi Farmon va qarorlarida barkamol shaxs va malakali mutaxassisni tarbiyalab voyaga yetkazish, ta'lim muassasalarining resurs kadrlar va axborot bazalarini yanada mustahkamlash va takomillashtirish, o'quv – tarbiya jarayonini yangi o'quv uslubiy majmualar bilan to'liq ta'minlash dolzarb vazifalar qatorida belgilangan [1-5].

Xususan, O'zbekiston Respublikasida oliy ta'limni tizimli isloh qilishning ustuvor yo'nalishlarini belgilash, zamonaviy bilim va yuksak ma'naviy-axloqiy fazilatlariga ega, mustaqil fikrlaydigan yuqori malakali kadrlar tayyorlash jarayonini sifat jihatidan yangi bosqichga ko'tarish, oliy ta'limni modernizatsiya qilish, ilg'or ta'lim texnologiyalariga asoslangan holda ijtimoiy soha va iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirish maqsadida "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" 2019 yil 8 oktabrdagi PF-5847-sonli Farmon qabul qilindi [6]. Ta'lim tizimi tarbiya mutasaddilari oldiga yosh avlodda yuksak e'tiqod va ilmiy dunyoqarashni shakllantirishni, dunyoni chuqur anglaydigan, zamon taraqqiyoti bilan barobar qadam tashlaydigan, mustaqil fikrlaydigan ma'naviy barkamol shaxsni tarbiyalashni muhim vazifa qilib qo'ydi.

Zero, so'ngi yillarda mamlakatimizda ta'lim sohasida muhim islohotlar amalga oshirib kelinmoqda. Barcha ta'lim tizimi muassasalarida tuzilishi va mazmuni jihatdan katta o'zgarishlar yuz berdi. Ularning soni ortdi, mutaxassislar tayyorlash sohalari kengaydi, jamiyatimiz talablaridan kelib chiqqan holda kadrlar tayyorlash va ularning malakasini oshirishga jiddiy e'tibor berila boshlandiki, zero, ushbu mutaxassislar albatta ekologiya va tabiatni muhofaza qilish haqidagi bilim va ko'nikmalarni to'liq o'zlashtirgan bo'lishlari lozim. Bo'lajak mutaxassislar yuksak darajadagi umumiy ekologik madaniyat va kasb mahoratini egallagan, milliy va umuminsoniy qadriyatlarni o'zlashtirgan, tabiatni muhofaza qilish bilan bog'liq bo'lgan o'zbek xalqining milliy an'analarga tayanadigan insonlar etib tarbiyalanishi ahamiyatga molik. Shu sababdan ham bo'lajak mutaxassislar o'z kasbiy faoliyati bo'yicha chuqur bilim, yuqori ekologik madaniyatga ega bo'lishlari zarur. Bu ekologik ta'lim-tarbiya jarayonida amalga oshiriladigan muhim pedagogik jarayondir.

Natijalar va muhokama. Bugungi kunda fan-texnika jadal sur'atlarda rivojlanib, inson va tabiat o'rtasidagi tabiiy muvozanat buzilayotganligi, tabiatga nisbatan jamiyat a'zolarida g'amxo'rlik sust ahvolga kelib qolganligi oqibatida atrof muhitga katta ziyon yetmoqda. Ona tabiatga istiqbolni ko'zlab munosabatda bo'lish, kelajak avlodga uni go'zal va tabiiyligicha qoldirish bugungi kunning muhim vazifasi bo'lib turibdi. Chunki tabiatga nisbatan inson qanchalik berahmlik bilan munosabatda bo'lsa, tabiat ham insonga nisbatan aynan ana shunday javob qaytaradi. Insoniyat jamiyatida ekologik ta'lim qay darajada shakllansa, jamiyat ham shu darajada taraqqiy etadi. Hozirgi kunda shaxslararo munosabatlardan tortib jamiyat va tabiatning o'zaro aloqadorligi orasidagi ko'plab muammolar kishilarda ekologik ta'lim-tarbiyaning talab darajasida emasligidan, ekologik savodxonlikning sayyozligidan dalolat beradi.

Vaholangki, insoniyat tabiatning bir bo'lagi ekanligini his etishi; tabiatni insoniyatning tug'ilishi, yashashi, rivojlanish makoni sifatida anglash va fikrlashi; tabiat bilan jamiyatning uyg'unligiga doir tabiiy va antropogen bilimlar tizimiga ega bo'lishi; tabiat qonuniyatlarini o'rganishi, anglab yetish va so'zsiz amal qilishi; tabiiy muhit bilan ongli munosabatga kirisha olishi, uning holatlarini baholay bilishi, bilim va malakaga ega bo'lishi; atrof muhitni tabiiy holda kelajak avlod uchun saqlashi kabi g'oyalarni inson ongida shakllantirish ekologik ta'lim orqali amalga oshiriladigan muhim jarayonlar hisoblanadi. Ayniqsa, ekologik ta'lim-tarbiya orqali ekologik barqarorlikka erishishimiz mumkinligini insonlar anglab yetadilar.

Asrimiz boshlariga kelib mavjud ekologik vaziyat milliy qadriyatlar, insoniy ehtiyojlarni qayta ko'rib chiqishni yanada kuchliroq talab etmoqda. XXI asrda aql sferasi

alohida ahamiyat kasb etib, barcha mavjud muammolarni ekologik ta'lim-tarbiya asosida hal etishni taqoza etmoqda. Buyuk V.Vernadskiy aytganidek, noosfera qobig'ining shakllanishi, insonlarda ekologik ongning shakllanishiga olib keladi. Qachonki noosfera qobig'i to'liq shakllanib bo'lsa, yer sayyorasida istiqomat qiladigan insonlar ongida tabiatni muhofaza qilish va uni tuzatishga oid global dunyoqarash shakllanadi.

Yoshlarga ekologik ta'lim berish asosida tabiatni muhofaza qilish, tabiat zaxiralaridan oqilona foydalanish, ekologik muammolarni o'rganish va ularning yechimini topish masalalari katta ahamiyatga ega. Jahonda, jumladan respublikada yuzaga kelgan ekologik vaziyatlar ya'ni havoning ifloslanishi, chuchuk suv tanqisligi, cho'llashish jarayoni, bioxilma-xillikning kamayishi, tuproq eroziyasi, Orol va Orolbo'yi muammosi, chiqindilar muammosi kabi yoshlarning ekologik tayyorgarligiga oid bir qator talablarni hal etishni taqoza etadi. Bularga:

- yoshlar ongida tabiat va jamiyatning o'zaro aloqadorligiga oid ekologik ta'lim berish, tabiatni umummilliy qadriyat sifatida his etish;
- tabiat bilan insonning o'zaro chambarchas bog'liqligini anglatish;
- "tabiat-jamiyat-texnika" tizimi tufayli yuzaga kelgan ekologik muammolarni tushuntirish;

respublika hududidagi ekologik muammolar, ularning kelib chiqish sabablari, oqibatlar; katastrofik (kataklizma) holatdagi ekologik vaziyatlarni yaxshilashga oid masalalarning yechimini topishga o'rgatish;

- tabiatni muhofaza qilishga oid qonunchilik bilan tanishtirish;
- yashil iqtisodiyot madaniyatini shakllantirish va yuksaltirish;
- ekologik ta'lim darajasini ko'tarish maqsadida ilmiy-ommabop adabiyotlar, teleko'rsatuvlar, masofaviy ta'lim va internet tarmog'i yordamida ma'lumotlardan olinadigan ekologik tushunchalarga asoslanib, tabiiy zaxiralardan foydalanish va tabiatni muhofaza qilishga oid ma'lumotlarga tayanib ko'nikmalarini tarkib toptirish va rivojlantirish;

- yoshlarda tabiatni muhofaza qilishga oid faoliyatga undovchi ekologik ta'lim berish asosida tabiat bilan sog'lom munosabatda bo'lishga o'rgatish, o'lkadagi ekologik muammolarni hal etishda ishtirok etish tuyg'ularini uyg'otish orqali ekologik ong va madaniyatni shakllantirish kabilar kiradi.

Mazkur talablarga muvofiq tabiat komponentlari: ekotizim, atmosfera; gidrosfera; litosfera; biosfera; yaqin koinot; quyosh va uning tizimiga oid bilimlar majmuasi asosida yoshlarga ekologik ta'lim-tarbiya berish muhim ilmiy-pedagogik muammo hisoblanadi.

Aynan ekologik ta'limning dolzarb masalalaridan biri sifatida uzluksiz ekologik ta'limni yo'lga qo'yish, ta'limning sifat va samaradorligiga erishish hamda ekologik madaniyatni shakllantirish asosida muammoning yechimini topish shu kunning talabi bo'lib qolmoqda.

Xususan, Muxtaram Prezidentimiz Shavkat Mirziyoyevning "2017-2021 yillarda O'zbekistonni rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar Strategiyasi" Farmonida (2017 yil 7 fevral PF-4947) Ta'lim va fan sohasini rivojlantirish maqsadida: uzluksiz ta'lim tizimini yanada takomillashtirish yo'lini davom ettirish, sifatli ta'lim xizmatlari imkoniyatlarini oshirish, mehnat bozorining zamonaviy ehtiyojlariga muvofiq yuqori malakali kadrlar tayyorlash masalalariga katta e'tibor qaratilgan [7].

Shularni e'tiborga olgan holda, Respublikamizda ekologik muammolarni bartaraf etish va ekologik xavfsizlikni ta'minlash, barcha aholida ekologik madaniyatni shakllantirish maqsadida ekologik ta'lim-tarbiyani uzluksiz ta'lim tizimining muhim tarkibiy qismi sifatida qarash va ta'lim tizimi jarayoniga keng joriy etishning ya'ni barcha ta'lim turlarida o'qitishning vaqt-soati kelganligini ma'lum qilish va anglatish maqsadida Ekologik ta'limni rivojlantirish konsepsiyasi ishlab chiqildi. Mazkur konsepsiya 2019 yil 27 mayda 434-sonli qaror bilan tasdiqdan o'tdi [8].

O'sib kelayotgan yosh avlodda ekologik bilim, ong, madaniyat va tafakkurni shakllantirish va rivojlantirish hamda ekologik ta'lim-tarbiya jarayonini tizimli va samarali tashkil etish, ekologiya sohasidagi ilm-fanni jahonning ilg'or innovatsion texnologiyalarini jalb etgan holda yanada takomillashtirish Ekologik ta'lim konsepsiyasining asosiy maqsadidir.

"Ta'lim to'g'risida" va "Tabiatni muhofaza qilish to'g'risida"gi O'zbekiston Respublikasi Qonunlariga muvofiq uzluksiz ta'lim tizimida ekologik ta'limni rivojlantirishning asosiy prinsiplarini belgilash, ularni izchillik bilan bosqichma-bosqich ta'lim-tarbiya jarayoniga tadbiq qilish va buning asosida ekologik ta'limning samaradorligini yangi bosqichiga olib chiqish konsepsiyaning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Ekologik ta'limni tashkil etishning metodologik asoslarini o'rganish va adabiyotlar tahlilidan ma'lum bo'ldiki, yoshlarga ekologik ta'lim-tarbiya berish va ularning ekologik madaniyatni shakllantirishga imkon beruvchi dastur va konsepsiya, darslik, o'quv ulubiy qo'llanma, risolalar mavjud, biroq uzluksiz ta'lim tizimida ekologiya mustaqil fan sifatida umumiy o'rta va o'rta maxsus ta'lim hamda kasbiy (professional) ta'limda qabul qilinmagan. Shu sababdan ham o'qituvchilar yoshlarda ekologik dunyoqarash va madaniyatni shakllantirishda qiyinchiliklarga duch kelmoqdalar. Bu esa, yoshlarning ekologiya va tabiatni muhofaza qilish sohasidagi dunyoqarashi va bilim darajasi sayyoz bo'lishiga olib keladi. Eng muhimi, insonlarning yashash sharoitlariga xavf solayotgan ekologik muammolarni hal etishda ya'ni ularning yechimini topishda erkin fikr yuritish, mustaqil xulosa chiqarish va qaror qabul qilishlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Chunonchi, respublikamiz hududida ham ekologik muammolarning mavjudligi va murakkablashuvi, har bir insonni atrof muhitga mas'uliyatli munosabatda bo'lishini talab etadi. Tabiatni muhofaza qilish va ekologiya muammolarining og'ir tus olishi ijtimoiy-iqtisodiy, siyosiy, axloqiy, ekologik, madaniy-tarixiy masalalarga yangicha qarashlarni taqozo qilmoqda. Sodir bo'layotgan ekologik muammolar insonlarni uning sabablarini tushunishga va oldini olish choralarini izlashga turtki bo'lmoqda. Zero, buning uchun yoshlarda ekologik ta'lim yuqori darajada bo'lishi lozim.

Atrof muhitni muhofaza qilish, tabiat boyliklaridan oqilona foydalanish ko'p jihatdan insonlarning ekologik savodxonligiga, ekologik ko'nikma va malakalarni shakllanganlik darajasiga bog'liq. Qolaversa, dunyoda kun sayin keskinlashib borayotgan ekologik muammolarni bartaraf etish uchun ekologik bilim yuqori bo'lmog'i lozim. Shu sababli, ekologik ta'lim-tarbiyaga e'tiborni kuchaytirib, uni takomillashtirish ishlarini amalga oshirish lozim. Ayniqsa, bo'lajak mutaxassislar chuqur bilim, intellektual salohiyat, yuqori ekologik madaniyatga ega bo'lishlari zarur. Yoshlar kelgusida qaysi soha mutaxassisi bo'lib ishlashlaridan qat'iy nazar, ular yaratayotgan turli xil mahsulotlar va faoliyat ko'rsatayotgan korxonalardan chiqayotgan chiqindilar tabiatga, uning asosiy unsurlari: havo, suv, tuproq, o'simlik va hayvonot olamiga zarar keltirmasligi kerak.

Ekologik ta'lim-tarbiya har tomonlama rivojlangan barkamol avlodni voyaga yetkazishda muhim ahamiyatga ega bo'lib, Vatanga muhabbatli, sadoqatli, vijdonli, insonparvarlik va olijanoblik kabi hislatlarni o'zida mujassamlashtirgan kishilarning shakllanishiga olib keladi. Davlatimiz milliy dasturi talablarining asosiy maqsadi ham shundan iborat.

Yoshlarga ekologik ta'lim-tarbiya berish, ularda tabiatga nisbatan ijobiy tuyg'u, qarash va harakatlarning shakllanishini ko'zda tutadi-ki, ular mahalliy, milliy va umuminsoniy qadriyatlar bilan uyg'unlashib ketadi. Yoshlarga ekologik ta'lim berish tabiatni saqlab qolish, uning umrini uzaytirishning asosi bo'lib xizmat qiladi.

Ekologik ta'lim-tarbiya natijasida, yoshlarda tabiat bilan inson o'rtasidagi munosabatlar uyg'unligi va atrof tabiiy muhitni muhofaza qilish ko'nikmasi tarkib topadi, shu bilan birga tabiatni sevish, u haqida qayg'urish, yurtimiz tabiati go'zalligidan faxrlanish kabi his-tuyg'ular shakllanadi. Ekologiyani o'rganish jarayonida yoshlar tabiat

hodisalar, tabiat obyektlarining bir-biri bilan aloqasi, tabiat va inson orasidagi muvozanatning buzilish sabablarini aniq tasavvur etadilar. Kelajakda tabiatga oid chuqur bilim, malaka, ko'nikmaga ega bo'lishlari Ekologik qonuniyatlarning mustahkam o'zlashtirilishi insoniyatning tabiat bilan muloqat qila olish chegarasini anglab yetishlariga va tabiatga nisbatan ehtiyotkorona munosabatning shakllanishiga olib keladi.

Shuning uchun ekologiya fanini chuqur va har tomonlama o'rganishlari, inson faoliyati natijasida biosferada ro'y berayotgan hodisalarning sabab va qonuniyatlarini tahlil etishlari, tabiat muhofazasini ilmiy asosda anglashlari zarur.

Aynan Konsepsiya ekologik ta'lim va tarbiyaning yagona tizimda turuvchi ajralmas vositalar majmuasi bo'lib, tabiatni asrab-avaylash, ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish, ona zaminning boyliklaridan oqilona foydalanish haqidagi ko'plab tasavvur, bilim va dunyoqarashni shakllantiradi. Vatanimiz tabiatini, ekotizimlarni, atrof-muhitni izdan chiqishidan asrashga hamda aholining barcha qatlamlarini ekologik madaniyatini oshirishga salmoqli hissa qo'shadi.

Mazkur konsepsiya yoshlar o'rtasida ekologik bilim, ong, madaniyat hamda ekologik ta'lim-tarbiya jarayonini tizimli tashkil etish, ekologiya sohasini ilg'or innovatsion texnologiyalarni jalb etgan holda yanada takomillashtirish, yoshlarning Ona tabiatni sevish va uni ko'z qorachig'idek asrashga qaratilgan bilim va ko'nikmalarni oshirish uchun uslubiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Ekologik ta'limni rivojlantirish konsepsiyasiga asoslangan holda uzluksiz ta'lim tizimining barcha bug'inlarida ekologiya fanini o'qitilishini keng joriy qilish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2030 yilgacha bo'lgan davrda O'zbekiston Respublikasining atrof muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" 2019 yil 30 oktabrda, PF-5863-sonli Farmoni qabul qilindi [9]. Konsepsiya yondashuvlarining muhim jihati sifatida ekologik madaniyat va ta'limni shakllantirish – fuqarolik jamiyati institutlarini jalb etgan holda, aholining uzluksiz ekologik ta'limi kompleks tizimini tashkil etish, atrof-muhit masalalari bo'yicha qarorlar qabul qilishda aholining ishtirok etishi kabi masalalar e'tirof etilgan. Fuqarolik jamiyati institutlari va aholining keng ishtirokisiz atrof muhitni muhofaza qilish muammolarini hal etib bo'lmaydi. Bunda aholining bilim darajasi alohida ahamiyatga ega ekanligi institutsional muammolar sifatida qabul qilingan.

Xulosa va takliflar. Yuqorida keltirilgan barcha huquqiy hujjatlarning bevosita isboti va tasdig'i sifatida 2025 yil 15 mayda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2030-yilgacha bo'lgan davrda aholining ekologik madaniyatini yuksaltirish" Konsepsiyasi qabul qilindi [10]. Ushbu konsepsiyada atrof muhitni muhofaza qilish muammolari umuminsoniy ahamiyat kasb etayotgan, insoniyatning tabiiy muhitga yetkazgan salbiy oqibatlarining natijalari tahlil qilinayotgan bir paytda, aholining barcha qatlamlariga ekologik ta'lim berishning uzluksizligini ta'minlash asosida ekologik madaniyatni shakllantirish va yuksaltirish muammosi inson ongidagi o'zgarishlar bilan bevosita bog'liq ekanligi asoslab berilgan.

Konsepsiyasining asosiy maqsadi o'sib kelayotgan yosh avlodda ekologik bilim, ong va madaniyatni shakllantirish hamda rivojlantirish, ushbu yo'nalishda ta'lim-tarbiya jarayonini samarali tashkil etish, aholining barcha qatlamlarida ekologik madaniyatni, shu jumladan, "yashil" iste'mol madaniyatini yanada yuksaltirishdan iborat deb qayd etilgan.

Binobarin insonlar tabiatning qadriyat ekanligini anglab yetsinlar. Havo, suv, tuproq, o'simlik hamda hayvonlar tabiatning muqaddas ne'mati, oliy in'omidir va inson hech qachon tabiatning hukmdori bo'la olmaydi va hech qachon uni boshqara olmaydi. Aksincha, inson tabiatni hurmat qilish, e'zozlash, qadrlash yo'li bilangina uyg'unlikda yashay olishi mumkin. Buni tushunish vaqti soati yetib keldi. Chunki insoniyat hayoti davomida juda ko'plab achchiq tajribaga ega bo'ldi. Bugungi insonlar buning guvohi bo'lib turibdilar.

Shu bois, Muxtaram Prezident Sh.M.Mirziyoyev ta'kidlaganidek, Hammamizga ayonki, taraqqiyotning tamal toshi ham, mamlakatni qudratli, millatni buyuk qiladigan kuch ham bu – ilm-fan, ta'lim va tarbiyadir. Ertangi kunimiz, Vatanimizning yorug' istiqboli, birinchi navbatda, ta'lim tizimi va farzandlarimizga berayotgan tarbiyamiz bilan chambarchas bog'liq [11].

Darhaqiqat, insoniyat jamiyati qanchalik, ekologik muammolarni bartaraf etishga, atrof muhit tozaligini saqlashga, amaliy va iqtisodiy ko'mak berishga harakat qilmasin, jamiyat a'zolarining har birida ekologik madaniyat shakllanmas ekan, tabiatni muhofaza qilish masalalari muammoligicha qolaveradi. Shuning uchun uzluksiz ekologik ta'limni joriy etish asosida ekologiya fanlarini chuqur va har tomonlama o'rganishlari, inson faoliyati natijasida biosferada ro'y berayotgan hodisalarning sabab va qonuniyatlarini tahlil etishlari, tabiat muhofazasini ilmiy asosda anglashlari zarur ekanligini davr taqozo etmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi muassasalari faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi 2017 yil 14 martdagi PQ-2829-sonli qarori.
2. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi 2017 yil 20 apreldagi PQ-2909-sonli qarori.
3. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Umumiy o'rta, o'rta maxsus va kasb-hunar ta'limi tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" 2018 yil 25 yanvardagi PF-5313-sonli Farmoni.
4. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining "O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi faoliyatini takomillashtirish to'g'risida"gi 2018 yil 3 fevraldagi PQ-3504-sonli qarori.
5. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Xalq ta'limini boshqarish tizimini takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" gi 2018 yil 5 sentabrdagi PF-5538-sonli Farmoni.
6. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" 2019 yil 8 oktabrdagi PF-5847-son Farmoni.
7. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni ("2017-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha" Harakatlar strategiyasi) 2017 yil 7 fevral PF-4947.
8. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "Ekologik ta'limni rivojlantirish konsepsiyasi to'g'risida" gi 2019 yil 27 may 434-sonli qarori
9. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2030 yilgacha bo'lgan davrda O'zbekiston Respublikasining atrof muhitni muhofaza qilish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" 2019 yil 30 oktabrdagi PF-5863-son Farmoni.
10. Mirziyoyev Sh.M. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2030 yilgacha bo'lgan davrda aholining ekologik madaniyatini yuksaltirish Konsepsiyasi" 2025 yil 15 maydagi PQ-184-son Qarori.
11. Mirziyoyev Sh.M. "O'qituvchi va murabbiylar yangi O'zbekistonni barpo etishda katta kuch, tayanch va suyanchimizdir". O'qituvchi va murabbiylar kuniga bag'ishlangan tantanali marosimdagi nutqi. 2020 yil 30 sentabr.

QarDU XABARLARI

Ilmiy-nazariy, uslubiy jurnal

Qarshi davlat universiteti kichik bosmaxonasida chop etildi.

Manzil: 180003, Qarshi shahri, Ko 'chabog ' ko 'chasi, 17.

Indeks: 4071

Terishga 2025-yil 20.06.da berildi.

Bosishga 2025-yil 25.06. da ruxsat etildi.

2025-yil 27.06.da bosildi.

Ofset qog ' ozi. Qog ' oz bichimi 60x84, 1/8.

Times New Roman garniturası. Nashriyot hisob tabog ' i 24,25.

Buyurtma raqami: № 15.

Adadi 100 nusxa. Erkin narxda.