

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

XALIKOVA ALINA VALEREVNA

**MAYDANAK OBSERVATORIYASIDAGI KUZATISHLAR ASOSIDA
MASHINAVIY O'RGANISH USULLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA
O'ZGARUVCHAN YULDUZLARNI QIDIRISH VA TAHLIL QILISH**

01.03.01- Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

**Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
физико-математическим наукам**

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
physical and mathematical sciences**

Khalikova Alina Valerevna

Maydanak observatoriyasidagi kuzatishlar asosida mashinaviy o'rganish usullaridan
foydalangan holda o'zgaruvchan yulduzlarni qidirish va tahlil qilish
.....3

Халикова Алина Валерьевна

Поиск и анализ переменных звезд с использованием методов машинного обучения
по наблюдениям на обсерватории Майданак.16

Khalikova Alina Valerevna

Search and analysis of variable stars using machine learning methods from observations at
the Maidanak observatory
.....30

Список опубликованных работ

E'lon qilingan ishlar ro'yxati
List of published works.....34

**ASTRONOMIYA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ASTRONOMIYA INSTITUTI

XALIKOVA ALINA VALEREVNA

**MAYDANAK OBSERVATORIYASIDAGI KUZATISHLAR ASOSIDA
MASHINAVIY O'RGANISH USULLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA
O'ZGARUVCHAN YULDUZLARNI QIDIRISH VA TAHLIL QILISH**

01.03.01- Astronomiya

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.1.PhD/FM1024 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Astronomiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.astrin.uz) va "Ziyonet" axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Egamberdiyev Shuxrat Abdumannapovich,
fizika-matematika fanlari doktori, akademik

Rasmiy opponenlar:

Grankin Konstantin Nikolaevich,
fizika-matematika fanlari doktori

Mirzaqulov Dovronbek Omatjonovich,
fizika-matematika falsafa fanlari doktori (PhD)

Yetakchi tashkilot:

M.V.Lomonosov nomidagi Moskva Davlat universiteti qoshidagi P.K. Sternberg Astronomiya Instituti (Rossiya)

Dissertatsiya himoyasi Astronomiya instituti huzuridagi PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil 16 avgust soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, Astronomiya instituti. Tel. (+99871) 235-81-02; faks (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz).

Dissertatsiya bilan Astronomiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (96B raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100052, Toshkent shahri, Astronomiya ko'chasi, 33-uy, O'zR FA AI. Tel. (+99871) 235-81-02).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil 2 avgust kuni tarqatildi.
(2024-yil 2 avgust dagi 1 – raqamli reestr bayonnomasi)

D.Sh. Fazilova

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi o'rinbosari, f.-m.f.d., professor

I.A. Ibragimov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotibi f.-m.f.n., katta ilmiy xodim

A.B. Abdikamalov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi
f.-m.f.d., yetakchi ilmiy xodim

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusini dolzarbligi va zarurati. Jahonda o'zgaruvchan turiga mansub yulduzlarni o'rganishga juda katta e'tibor qaratilgan. Ikki va ko'p sonli tizimlar kabi o'zgaruvchan yulduzlar asosiy yulduz o'lchamlari (yulduzlarning massasi va radiusi) haqida ma'lumot manbai hisoblanadi, ushbu o'lchamlar yulduzlarning shakllanish mexanizmlari, yulduz populyatsiyalari, evolyutsiya nazariyasi, ekzosayyoralarining «demografiyasi» va Galaktikaning kimyoviy va dinamik tarixini tushunish uchun kalit hisoblanadi. Biroq, ko'plab savollar ochiq qolmoqda. Masalan, qo'shaloq yulduzlar orbitalarining tsirkulyarizatsiyasining mavjud mexanizmlari va ularning samaradorligi, qo'shaloq tizimlarda davr va ekstsentrismetning taqsimlanishi va uning evolyutsion holati, O'Konnell effektining mavjudligining tabiati haligacha qizg'in bahs-munozaralar mavzusi hisoblandi. Bu borada Xalqaro Astronomiya Ittifoqi (XAI) – “Katta miqyosdagi kuzatuvlar orqali barcha tipdagi o'zgaruvchan yulduzlarni ko'proq kashf qilishda davom etish”¹ lozimligini ta'kidladi. O'zgaruvchan yulduzlarni osmonning bir xil maydonini qayta-qayta kuzatish orqali topish va o'rganish mumkin, natijada juda katta hajmdagi ma'lumotlar olinadi.

Jahonda hozirgi vaqtda astronomiya zamonaviy CCD-qabul qiluvchilar bilan jihozlangan yirik teleskoplar tomonidan olinayotgan va to'planayotgan kuzatuv ma'lumotlari miqdori keskin oshib bormoqda. Bunday ma'lumotlar hajmi astronomlar tomonidan qisqa vaqt ichida tahlil qila oladigan chegaralardan oshib ketadi. Shu sababdan tadqiqotchilar ma'lumotlarni tahlil qilish uchun kompyuterlardan foydalanib, o'tkazib yuborilishi mumkin bo'lgan muhim qonuniyatlar va bog'lanishlar aniqlamoqda. Ushbu jarayonlari hal etishda mashinaviy o'rganish deb nomlanuvchi usuldan foydalanish zamonaviy astronomiyada ajralmas quroliga aylanmoqda. Shuni ta'kidlash joyizki, mashinaviy o'rganish oldindan dasturlashtirilmagan, ammo o'rganish uchun ishlatiladigan ma'lumotlar asosida yaratilgan modellarga asoslanadi. Jahon tajribasi mashinaviy o'rganish usullari yordamida astronomlar oldindan aytib bo'lmaydigan kashfiyotlar qilish uchun misli ko'rilmagan imkoniyatga ega ekanligini ko'rsatadi (bu *anomaliyalarni aniqlash* deb ataladigan usullar sohasi). Mashinaviy o'rganishning ko'p sonli usullari o'z navbatida ham usulni tanlash, ham ma'lumotlardan tavsiflovchi xususiyatlarni tanlash muammosini keltirib chiqaradi (mashinaviy o'rganish ko'p sonli usullarni talab qiladi). Bu yerda sinchkovlik bilan tanlangan statistik ma'lumotlarda mavjud bo'lmagan ishlov berilmagan ma'lumotlarning xususiyatlari bormi degan savolni tug'diradi.

Respublikamizda fundamental tadqiqotlarga, xususan, Yer va kosmik teleskoplar kuzatuvlari ma'lumotlarini tahlil qilishda mashinaviy usullarni takomillashtirishga katta e'tibor qaratilmoqda. “Yangi O'zbekistonni 2022-2026-yillarda rivojlantirish strategiyasi”da² belgilangan vazifalarni amalga oshirish uchun O'zbekiston Fanlar akademiyasi Astronomiya institutining Maydanak

1

IAU

Strategic

Plan

2020–2030.

https://www.iau.org/static/administration/about/strategic_plan/strategicplan-2020-2030.pdf

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 29-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida”gi farmoni.

observatoriyasida o'zgaruvchan yulduzlarning intensiv monitoring kuzatuvlarini o'tkazish imkoniyatidan oqilona foydalanish, yaratilgan kuzatuv ma'lumotlari bazalaridan foydalanish samaradorligini oshirish, hamda ularni tahlil qilish usullarini takomillashtirish asosida o'zgaruvchan ob'ektlarni mashinaviy o'rganish usullari yordamida tasniflash zarur.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 29-yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi farmoni va O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 17.02.2021 yildagi PP-4996-sonli "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori ijrosini ta'minlashda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi fan va texnikasini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishi: Prezidentning 2021 yil 17 fevralidagi "Sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish uchun shart-sharoitlar yaratish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qaroriga muvofiq amalga oshirilgan. (№ PP-4996).

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Jahonda o'zgaruvchan yulduzlar tadqiqotlari bilan bu sohaga katta hissa qo'shgan xorijiy olimlardan Henrietta Swan Leavitt, Ejnar Hertzsprung, Harlow Shapley, Arthur Stanley Eddington, John Goodricke, Solon Irving Bailey, Edward Charles Pickering, Sergio Van der Maelen, Paul A. Wiegert, Bohdan Paczyński, Margarita Karovska, Robert Paul Kraft, Janet A. Mattei, Krzysztof Stanek, Gordon G. Meyers va MDH olimlaridan esa Boris Vasilyevich Kukarkin, Viktor Ambartsumian, Grigory Shajn, Dmitry Maksutov, Vladimir Albitzky kabi olimlarning fundamental va amaliy tadqiqotlari alohida e'tiborga molik.

O'zbekistonda o'zgaruvchan yulduzlarni o'rganish 19 asr oxirida boshlangan. Masalan, Toshkent Astronomiya Rasadxonasi Sirkulyariga ko'ra, 1932 yil uchun Toshkent Astronomiya rasadxonasida uch yuzdan ortiq RR Lyr, δ Cep, RV Tauri tipidagi yulduzlar, to'siluvchan va "o'rganilmagan" o'zgaruvchan yulduzlar N. Florya, B. Kukarkin, V. Maltsev kabi astronomlar tomonidan oddiy astrografda fotografik tarzda vizual kuzatilgan. O'tgan vaqt ichida o'zgaruvchan yulduzlarning deyarli barcha ma'lum turlari o'rganildi. Oxirgi 50 yil davomida asosiy e'tibor uchta turdagi ob'ektlarga qaratildi: yulduzlarning tug'ilish sohalridagi yosh asosiy ketma-ketligigacha bo'lgan yulduzlar, masalan, RR Lyr, δ Cep, RV Tauri yulduzlar va bosh ketma-ketlikdagi to'siluvchan qo'shaloq yulduzlar.

O'tgan asrning 70-yillarida ROTOR loyihasi doirasida Maydanak rasadxonasida yosh yulduzlarning kuzatuvlari olib borildi. Ushbu loyiha doirasida yulduzlarning intensiv tug'ilish sohalaridagi va to'dalardagi to'siluvchan sistemalarni tizimli o'rganish amalga oshirildi. Astrseysmologiya sohasida ham katta ishlar amalga oshirildi, masalan, δ Sct: V830 Her va HD 163032 tipidagi yulduzlarning 4 yillik kuzatuvlari tadqiqotini ko'rsatish mumkin. 2013-2014 yillarda SPAREBIS (Tutukov and Bogomazov, 2012) loyihasi doirasida Maydanak rasadxonasida ba'zi ma'lum to'siluvchan qo'shaloq yulduzlarning uzoq muddatli uzluksiz kuzatuvlari olib borildi. Lekin O'zbekistonda shu vaqtgacha o'zgaruvchan

yulduzlarning tadqiqotida kompyuterda o'rganish usullari qo'llanilmagan. Ammo bu tadqiqot ishi bizning mamlakatimizda bu astronomik soha bo'yicha birinchi dissertatsiya ishi hisoblanadi.

Dissertatsiya tadqiqotini dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Astronomiya institutining FA-F02-F027 "Yangi ekzoplanetalarni kashf qilish usuli sifatida tranzit tutilishlarining vaqtinchalik o'zgarishlarini kuzatish bo'yicha tadqiqotlar" va FA-F02-F028 "Yulduz atmosferalaridagi dinamik jarayonlar va magnit maydonlarni astro- va gelioseysmologiya usullari bilan o'rganish" ilmiy loyihalari doirasida amalga oshirilgan.

Tadqiqotning maqsadi an'anaviy va sun'iy neyron tarmoq va boshqa mashinaviy o'qitish kabi intellektual usullari asosida o'zgaruvchan yulduzlarni qidirish va tahlil qilishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari: IRAF muhitida katta xajmdagi kuzatuv ma'lumotlarini oldindan qayta ishlash va ko'p diafragmali differentsial fotometriyani avtomatlashtirish uchun dasturiy ta'minotni ishlab chiqish;

Olingan yorqinlik egri chiziqlari asosida fizik va geometrik parametrlarni aniqlash;

Haqiqiy ma'lumotlar asosida ma'lum parametrlarga ega sun'iy ma'lumotlarni yaratish va ushbu ma'lumotlarga nisbatan intellektual tahlilning turli usullarini taqqoslash;

PYTHON dasturlash tilining intellektual usullari kutubxonalarini asosida yorqinlik egri chiziqlarini tahlil qilish uchun dasturiy ta'minotni ishlab chiqish va yozish;

Mashinani o'rganish usullarini haqiqiy yorqinlik egri chiziqlariga qo'llash, natijalarini tahlil qilish va talqin qilish.

Tadqiqot ob'ekti - fizik o'zgaruvchan yulduzlar, to'siluvchan qo'shaloq tizimlar.

Tadqiqotning predmeti - Maydanak Astronomik Observatoriyasida olingan raqamli CCD kuzatuvlari, yerdagi (ASAS, SuperWASP, ATLAS, ZTF) va sun'iy yo'ldosh (Kepler, TESS) tadqiqotlari va ma'lumotlar bazalaridan o'zgaruvchan yulduzlarning fotometrik yorqinlik egri chiziqlari.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida PZS tasvirlarni qayta ishlash usullari, yulduzlarning differentsial fotometriya, yorqinlik egri chizig'ining xususiyatlarini aniqlashning statistik usullari, mashinani o'rganish usullari, to'siluvchan qo'shaloq tizimlarning fizik va orbital parametrlarini matematik modellashtirish usullari.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi qo'yidagilardan iborat:

8 ta yulduzning o'zgaruvchanligi ilk marta kashf etilgan va tasniflangan (TYC3556-299-1, TYC3556-130-1, TYC3551-1535-1, TYC3215-1288-1, USNO-B1.0 1280-0618262, TYC3215-906-1, TYC3215-1406-1, USNO-B1.0 1357-0539679)

6 ta yulduzning o'zgaruvchanligi tasdiqlangan va tasniflangan (ATO J041.7194+41.4247, ATO J041.8690+41.3205, USNO-B1.0 1270-0272752, GSC 02007-00761, BD + 46°2731, USNO-A2.0 1200-08721202)

Bir qator tutilish tizimlarining dastlabki fizik va orbital o'lchamlari olindi.

Maydanak rasadxonasida kuzatilgan tanlangan maydonlarning barcha fotometrli yulduzlarining yorug'lik differentsial egri chiziqlari atlas tuzildi (400 mingdan ortiq yakka tartibdagi ekspozitsiyalar).

Mashinani o'rgatish usullarida, xususan, klaster tahlilida foydalanish uchun ma'lumotlarni taqdim etishning yangi usuli ishlab chiqildi.

ASAS o'zgaruvchan yulduzlar katalogida ekstsentrik orbitalarga ega bo'lgan qo'shaloq tizimlarda 19 ta yangi nomzod topildi va ularning ekstsentrisiteti va periastr uzunligi aniqlandi.

Ekstsentrisiteti 0.07 orbita bo'lgan 2 ta (yuqorida ko'rsatilgan 19 tadan) qo'shaloq tizimlarda, ehtimol, kuchli to'liqin sabab bo'lgan pulsatsiyalar mavjudligi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Tadqiqotda olingan natijalar fotometrik ko'p rangli kuzatuvlarning katta massivlarini yarim avtomatik tarzda qayta ishlash uchun dasturiy ta'minot sifatida foydalanilish mumkin.

Shuningdek Mashinaviy o'rganish usullaridan, shu turdagi yoki shunga o'xshash boshqa astronomik manbalarni o'rganishda dastlabki uslubiy qo'llanma bo'lib xizmat qiladi.

Mazkur ishning natijalarini Respublika universitetlari astronomiya bo'limlari bakalavrlari va magistrleri uchun maxsus kurslarga ham kiritilishi mumkin.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi ma'lumotlarni qayta ishlashning zamonaviy raqamli usullari va algoritmlarini qo'llash, samaradorlikni baholash me'zonlari va yulduz tizimlarining parametrlarini hisoblash, shuningdek, erishilgan xulosalarni boshqa mualliflarning tadqiqot natijalari bilan qiyosiy tahlil qilish orqali ta'minlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundan iboratki, mashinani o'rgatish usullarini qo'llash uchun yorug'lik egri chiziqlarini ko'rsatishga yangi yondashuv fanning boshqa sohalarida vaqt qatorlarini tahlil qilishda va mashinani o'rgatish usullarini takomillashtirishda foydalanish uchun istiqbolli hisoblanadi. Olingan natijalar o'zgaruvchan yulduzlarning shakllanishi, evolyutsiyasi va statistikasining ba'zi jihatlarini tushunish, tutilayotgan yulduzlarning fazoviy va fizik xususiyatlarini aniqlashtirish, to'liqinli tsirkulyarizatsiya nazariyalarini o'rganish va to'liqinli qo'zg'atilgan tebranishlarning tabiatini o'rganish uchun foydalidir.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundaki, topilgan uchta yangi o'zgaruvchan yulduz OKPZ katalogiga kiritilgan. Ushbu natijalar butun Jahon astronomlari tomonidan foydalanilishi mumkin.

Tadqiqot natijalarini amalda qo'llanishi. Ilmiy maqolalarda chop etilgan nazariy natijalar va tadqiqot usullaridan Fesenkov nomidagi Astrofizika instituti loyihalari doirasida mashinaviy o'rganish usullaridan foydalangan holda oqimli fotometriya natijalari asosida o'zgaruvchan yulduzlarni qidirish uchun

foydalanilgan (Qozog‘iston Respublikasi, Fesenkov nomidagi Astrofizika institutining 2023 yil 5 yanvardagi xatiga qarang).

Yangi o‘zgaruvchan yulduzlarni kashf etish bo‘yicha chop etilgan ishlar asosida 3 yulduz <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/index.htm> elektron manzil orqali ommaga ochiq bo‘lgan va Astronomy Reports jurnalida chop etilgan “O‘zgaruvchan yulduzlarning umumiy katalogi yangi versiya (OKPZ 5.1)” xorijiy katalogiga kiritildi (Volume 61, Issue 1, 2017, pp.80-88). Ushbu 3 yulduzga o‘zgaruvchan yulduzlarning umumiy katalogi (OKPZ) tizimida o‘z nomlari berilgan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiya qilish. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 6 ta xalqaro va respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferentsiyalar va seminarlarda ma‘ruza qilingan va muhokamadan o‘tgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha 21 ta ilmiy maqola, jumladan, xalqaro nashrlarda 8 ta ilmiy maqola va O‘zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya Komissiyasi(OAK) tomonidan asosiy ilmiy natijalarni chop etish uchun tavsiya etilgan respublika ilmiy nashrlarida bitta maqola chop etilgan.

Muallifning shaxsiy hissasi. Dissertatsiya muallifi ilmiy ishda qayd etilgan O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Maydanak rasadxonasi teleskoplarining barcha fotometrik kuzatuv ma‘lumotlariga (400 mingdan ortiq individual ekspozitsiyalarda) dastlabki ishlov berishni shaxsan amalga oshirdi. Muallif katta hajmdagi kuzatuv ma‘lumotlarini oldindan qayta ishlash va ko‘p diafragmali fotometriyani avtomatlashtirish uchun dasturiy ta‘minotini ishlab chiqdi. PHOEBE paketi yordamida to‘siluvchan tizimlarni modellashtirish natijalari muallifga tegishli. Muallif, shuningdek mashinaviy o‘rganish usullarini qo‘llash uchun yorqinlik egri chizig‘ini ifodalashda yangicha yondashuvni shaxsan ishlab chiqdi. Yorqinlik egri chizig‘ini tahlil qilish uchun intellektual uslublar kutubxonalaridan foydalangan holda barcha dasturiy ta‘minot muallif tomonidan yozilgan. Dissertatsiyadagi to‘rtinchi bobda keltirilgan asosiy natijalar va ularning tahlili shaxsan muallif tomonidan qo‘lga kiritilgan. Nashr qilingan I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.7, I.8 ishlarida dissertant ravshanlik egri chiziqlarini hosil qilish, olingan fotometrik ma‘lumotlarni muhokama qilish va izohlash uchun mas‘ul bo‘lgan. I.1, I.8, I.9 ishlarida dissertant qo‘shaloq tizimlarni sonli modellashtirishni amalga oshirgan. I.9 ishda g‘oya, tadqiqot predmeti va ob‘ektini tanlash, metodologiya, natijalarni tahlil qilish va izohlash dissertatsiya muallifiga tegishli.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to‘rt bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ruyxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 169 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida mavzuning dolzarbligi va zarurati asoslanadi, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyektlari va predmeti ifodalab beriladi, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon

qilingan, ishning nazariy va amaliy ahamiyati ochib beriladi, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish to'g'risidagi ma'lumotlar taqdim etilgan.

Birinchi bob "O'zgaruvchan yulduzlarni o'rganish sohasida zamonaviy tadqiqotlarni ko'rib chiqish" deb nomlanib, to'rtta paragrafdan iborat. Birinchi paragraf yulduzlar o'zgaruvchanligi turlari haqidagi zamonaviy g'oyani ko'rib chiqishga bag'ishlangan, muammoning umumiy qo'yilishi ochib berilgan. Ikkinchi paragrafda pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchan yulduzlarning asosiy tavsifnomalari berilgan. Pulsatsiyalanuvchi beqarorlik yulduzlar evolyutsiyasining ma'lum bosqichlarida yuzaga keladi, shuning uchun pulsatsiyalanuvchi o'zgaruvchan yulduzlarni davriy davomiyligi, yorug'lik egri chiziqli massasi, spektr turi va boshqa kuzatuv belgilari bo'yicha tasniflash ularning evolyutsion statusi, ya'ni massa, yosh va kimyoviy tarkibning ma'lum qiymatlariga ega yulduzlar guruhiga tegishlilikini aks ettiradi. Uchinchi paragrafda bir xil bo'lmagan sirt yorqinligi va/yoki ellipsoid shakllari bo'lgan o'zgaruvchan yulduzlar tavsiflangan, ularning o'zgaruvchanligi kuzatuvchiga nisbatan o'qli aylanishi bilan yuzaga kelishiga sabab bo'lgan. Bundan tashqari, sirt yorqinligi taqsimotining bir xil emasligi dog'lar yoki o'qi aylanish o'qiga to'g'ri kelmaydigan magnit maydon bilan yuzaga kelgan atmosferaning ba'zi issiqlik yoki kimyoviy bir xil emasligining mavjudligi bilan yuzaga kelishi mumkin. To'rtinchi paragrafda tutilgan qo'shaloq yulduzlar, O'Konnell effekti va ularning sabablari va mexanizmlarini yuzaga keltiradigan orbitaning ekstsentrisiteti kabi tutilgan qo'shaloq yulduzlarning effekti haqida so'z boradi. Bobning ifodalangan xulosalari shundan iboratki, o'zgaruvchan obyektlarning tasniflashi, albatta, kuzatilayotgan xususiyatlarga – fotometriyaga, spektral tavsifnomalarga asoslanadi. Tasniflashning yakuniy maqsadi manbaning tabiati va o'zgaruvchanlikning sabablari haqida ko'proq bilish uchun o'zgaruvchan manbalarni fizik toifalarga ajratishga uirinib ko'rishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish, ba'zi bir turli xil fizik jarayonlar bir xil xatti-harakatlarni keltirib chiqarishi bilan murakkablashadi.

Ikkinchi bob uch paragrafdan iborat bo'lib, "Fotometrik kuzatuvlarni ishlov berish uslubiyoti va avtomatlashishi" deb nomlanadi va Maydanak observatoriyasida olingan monitoring fotometrik ma'lumotlariga ishlov berish uslubiyotini tavsiflashga bag'ishlangan. Birinchi paragrafda fotometrik ma'lumotlarga ishlov berish uslubiyotining tamoyillari va o'ziga xos xususiyatlari tavsiflangan. Ishlov berishni avtomatlashtirish zarurati asoslanadi. Ikkinchi paragrafda kuzatuvlarga ishlov berishning asosiy bosqichlari, differentsial fotometrik kattaliklarni olish va referent tuzilishi, shuningdek yorug'lik egri chizig'ining tarqoqligi minimal bo'lgan apertura va referent yulduzlarining mumkin bo'lgan birikmalarini izlash orqali optimal yorug'lik egri chizig'ini qurish bosqichlari tavsiflangan.

Uchinchi paragrafda ko'p sonli ma'lumotlarga yarim avtomatik ishlov berish uchun dasturiy ta'minot tuzilishi tavsiflangan. Monitoring kuzatuvlarini ishlov berish jarayonini maksimal darajada avtomatlashtirish maqsadida IRAF paketi bilan yetkazib beriladigan dasturlash tilida yozilgan skriptlar to'plami shaklidagi dasturiy ta'minot (pipeline) ishlab chiqilgan. Pipeline IRAF tilida 14 ta skript,

gnuplot grafik dasturi tilidagi skript va parametrlarga ega 2 ta yordamchi fayllardan iborat.

1-jadval. Aniqlangan va tasdiqlangan o‘zgaruvchan yulduzlarning ba‘zi parametrlari va tasniflashi.

Yulduz	Tasniflash	Yulduz kattaligi	Amplituda	Davr, kunda
TYC3215-1288-1 = USNO-B1.01280-0618346 = 2MASS 22534875+3804030:	noto‘g‘ri o‘zgaruvchan yulduz	10.3(22) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.09^m$	
USNO-B1.01280-0618262 = UCAC4641-124229 = 2MASS 22533785+3802543	yarim to‘g‘ri o‘zgaruvchan yulduz, o‘zgaruvchanligi aylanish modulyatsiyasi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin	13.1(29) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.06-0.07^m$	12.7
TYC3215-906-1 = USNO-B1.01279-0627071 = 2MASS 22533785+3802543	faol sohalar bilan qo‘shaloq yulduzlar tizimi	11.9(27) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.05^m$	0.56
TYC3215-1406-1 = USNO-B1.01278-0636029 = 2MASS 22532635+3751194	noto‘g‘ri o‘zgaruvchan yulduz	10.6(34) (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.085^m$	
GSC 2007:761 = V* IO Boo = 2MASS J14125096+2432023 = TIC 156563223	tutilgan qo‘shaloq yulduzlar tizimi (EW)	11.87 ^m (V)	$\Delta V \approx 0.5^m$	0.271
USNO-B1.01357-0539679 = UCAC4679-131592 = 2MASS 23494870+4543155	tutilgan qo‘shaloq yulduzlar tizimi (EW)	16.1(86) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.18^m$	0.34(27)
BD+46°2731 = NSV 12196		9 ^m (V)	$\Delta V \approx 11.925$ mmag	0.05277
TYC3556-299-1 = Kepler ID 9470054	tutilgan qo‘shaloq yulduzlar tizimida δ Sct tipidagi ehtimoliy yulduz	12 ^m (V)	$\Delta V \approx 6.00 \pm 0.53$ mmag	0.058
TYC3556-130-1 (OKII3)	δ Sct	10.7 ^m (V(AAVSO))	$\Delta V \approx 3.75 \pm 0.41$ mmag	13.364
USNO-A2.0 1200-08721202 = Gaia DR2 4609073823615498880	δ Sct	12.8 ^m (R)	$\Delta R \approx 0.04^m$	0.085
TYC3551-1535-1	δ Sct	11.28 ^m (V)	$\Delta V \approx 0.02^m-0.03^m$	0.1124

Quyida bobning asosiy xulosalari keltirilgan, ular quyidagilardan iborat: tadqiqot doirasida fotometrik ma‘lumotlarga ishlov berish uchun ko‘p sonli bir hil kuzatuv ma‘lumotlari bilan ishlash uchun maxsus tarzda yozilgan yarim avtomatik ishlov berish va differentsial ko‘p aperturali fotometriya uchun skriptlar to‘plami (pipeline) ishlab chiqilgan va qo‘llanilgan.

"O‘zgaruvchan yulduzlarni aniqlash. An'anaviy uslub" uchinchi bobida o‘zgaruvchanlikni aniqlash yoki tasdiqlash, tasniflash, 11 ta yulduz uchun fizik parametrlarni belgilash muhokama qilinadi.

Birinchi paragrafda kuzatuvlar haqida batafsil ma‘lumot taqdim etiladi.

Ikkinchi paragrafda GSC 02007-00761 tutilgan qo'shaloq yulduzning dastlabki fizik parametrlarini tasdiqlash, tasniflash va olish tavsiflangan.

Uchinchi paragrafda BD+46°2731 yulduz o'zgaruvchanligini tasniflash va tasdiqlash berilgan.

To'rtinchi paragrafda TYC3556-299-1 tutilgan qo'shaloq tizimida topilgan pulsatsiyaviy beqarorlik va TYC3556-130-1 yulduzining ilgari noma'lum o'zgaruvchanligi muhokama qilindi.

Beshinchi paragraf USNO-A2.01200-08721202 yangi o'zgaruvchan yulduzni o'rganishga bag'ishlangan.

Oltinchi paragrafda biz kashf etgan TYC3551-1535-1 o'zgaruvchan yulduzning o'tkazilgan tasniflashi tavsiflangan.

Yettinchi paragraf biz kashf etgan USNO-B1.0 1357-0539679 yangi qo'shaloq yulduzni tahlil qilishga bag'ishlangan.

Sakkizinchi paragraf to'rt yulduz: TYC3215-1288-1, USNO-b1.0 1280-0618262, TYC3215-906-1 va TYC3215-1406-1 ning o'zgaruvchanligini kashf etishga bag'ishlangan.

1-jamlama jadvalda yuqorida keltirilgan paragraflarning asosiy natijalari keltirilgan.

To'rtinchi bobda "Mashinaviy o'rganish uslublari bilan o'zgaruvchan yulduzlarning yorug'lik egri chiziqlarini tahlil qilish" - tahlilning intellektual uslublari yordamida o'zgaruvchan yulduzlarni tasniflash va aniqlash muammolari (uni binar tasniflash muammosi yoki anomalialarni aniqlash muammosi deb hisoblash mumkin) muhokama qilingan.

Birinchi paragrafda muammoning umumiy qo'yilishi belgilangan, ya'ni o'zgaruvchan yulduzlarni tasniflash qobiliyati yorug'lik egri chiziqlarini ko'rsatish uslubiga juda bog'liq. Tanlangan funktsiyalar o'zgaruvchanlikning xarakterli xususiyatini - tuzilishi va axborot tarkibini miqdoriy aniqlashi kerak.

Ikkinchi paragrafda muallif tomonidan o'qituvchisiz mashinaviy o'rganish (klasterlash) vazifalari uchun yorug'lik egri chiziqlarini ko'rsatishning yangi uslubi tavsiflangan. Klasterlash - bu turli guruhlarining obyektlari bir guruh ichidagi obyektlarga qaraganda ko'proq farq qiladigan tarzda obyektlarni guruhlarga bo'lish jarayoni. Kepler kosmik missiyasi ma'lumotlari bilan bir qatorda bo'shliqlar bilan sun'iy ma'lumotlarga yangi yondashuvni qo'llash natijalari keltirilgan.

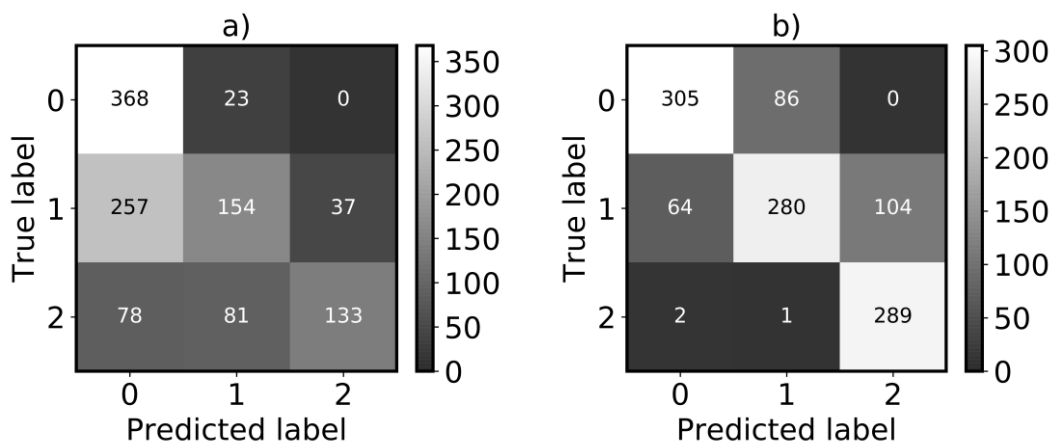
Yangi uslubning samaradorligini baholash uchun u vaqt qatorlari – Vaqtni dinamik o'zgartirish (DTW - Dynamic Time Warping) va korrelyatsiya koeffitsientlari (SS) yordamida masofa matritsasini hisoblashni klasterlash uchun qo'llaniladigan standart uslubiyot bilan taqqoslandi. Ushbu uchta algoritmlarning aniqligini baholashning birinchi mezoni ularga asoslangan klasterlash trendlarning har xil turlari bilan sun'iy ravishda yaratilgan vaqt qatorlarini qanchalik yaxshi ajrata olishiga qarab tanlangan edi. Har bir qatorning o'rtacha qiymati va shovqin komponenti ishda ishlatiladigan haqiqiy kuzatuvlarning "yulduz kattaligi - standart og'ish" bog'liqligidan foydalangan holda olingan. Ma'lumotlardagi bo'shliqlarning ta'sirini tadqiq qilish uchun o'lchovlarning 100% dan umumiy miqdorning 75%, 50% va 25% qoladigan qilib, nuqtalarning bir qismi tasodifiy tarzda olib tashlandi.

Olinayotgan yechimni har tomonlama baholashga imkon beradigan klasterlash sifatini baholash uchun bir qator mezonlar keltirildi. Umumiy sonning 100%, 75%, 50% va 25% nuqtalari soni bo'lgan ma'lumotlar uchun GMM uslubi kabi eng samarali SS algoritmlari mos ravishda aniqlik qiymatlarini ko'rsatadi (Accuracy): 0.91, 0.91, 0.9, 0.87; DTW uslubi uchun GMM-algoritmi aniqlikni ko'rsatadi (Accuracy): 0.96, 0.89, 0.96, 0.84; 10x10 bin kabi bo'linish uchun yangi yondashuv Kmeans klasterlash algoritmi mos ravishda 0.98, 0.99, 0.98, 0.96 aniqligini ko'rsatadi.

Yangi uslubni haqiqiy yorug'lik egri chiziqlarida tekshirib ko'rish uchun shuningdek Kepler kosmik missiyasining tutilgan qo'shaloq yulduzlari katalogidan (Slawson et al., 2011) yorug'lik egri chiziqlarining klaster tahlili va morfologik tahlili (Gal Matijević, 20120) ni taqqoslash o'tkazildi. 1-rasm va 2-jadvalda klasterlash samaradorligi choralari va yangi uslub va DTW uslubi bilan xatolarning matritsalari keltirilgan. '0' sinfi - ajratilgan tizimlar, '1' sinfi - yarim ajratilgan tizimlar va '2' sinfi - kontakt tizimlari.

2-jadval. DTW-uslub (a) va yangi uslub (b) dan foydalangan holda klaster tahlili samaradorligining choralari.

метод	a) DTW-метод, Accuracy = 57.9%			b) Новый метод, Accuracy = 77.3%		
класс	0	1	2	0	1	2
F1	0.67	0.44	0.58	0.80	0.69	0.84
precision	0.52	0.6	0.78	0.82	0.76	0.74
recall	0.94	0.34	0.46	0.78	0.63	0.99



1-rasm. DTW-uslub (a) va yangi uslub (b) uchun xatolarning matritsalari.

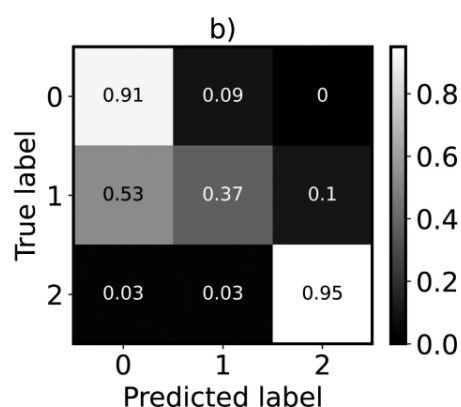
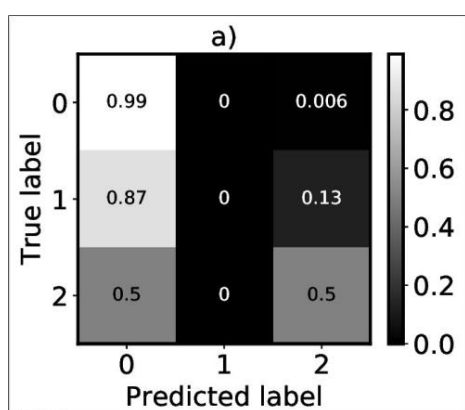
To'rtinchi bobning uchinchi paragrafida yangi uslubni haqiqiy yorug'lik egri chiziqlarida testdan o'tkazishni davom ettirish uchun All Sky Automated Survey (ASAS-3) ma'lumotlar bazasi tanlandi. Tutilgan tizimlar morfologiyasining har xil turlari hali ham tadqiqot obyekti sifatida ko'rib chiqilgan edi, chunki ushbu tizimlarning yorug'lik egri chiziqlarining "o'xshashligi" bizning samaradorligimizni tekshirishda qo'shimcha qiyinchilik tug'diradi. Shuningdek yangi uslub yaxshi samaradorlik va tezlikni ko'rsatdi (3-jadval va 2-rasmga qarang).

Sun'iy qatorlarni yaratish, tahlil qilish va vizualizatsiya qilish uchun dasturiy qobiq python 2.7 dasturlash tilida, xususan scikit-learn va fastdtw kutubxonasi tilida yozilgan edi.

Klasterlash yordamida ASAS-3 katalogining yorug'lik egri chiziqlarini tahlil qilishni davom ettirgan holda keyingi qadam ma'lumotlardagi anomalialarni aniqlashga aylandi. Bizning maqsadimiz orbitaning sezilarli ekstsentrissetiga ega tizimlarning yorug'lik egri chiziqlarini aniqlash edi, ularning o'ziga xos xususiyati yorug'lik egri chizig'ining assimetriyaliligida – xususan, 0.5 fazadan ikkilamchi minimumning siljishida aks etadi. Natijada eksentrissetga ega yangi tizimlarning 19 ta nomzodi tanlab olindi. Tanlanganlarni yanada tahlil qilish uchun TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) missiyasining kuzatuv ma'lumotlari va JKTEBOP qo'shaloq yulduzlarni modellash uchun dasturlar paketi ishlatilgan. 10 ta tizim uchun hisob-kitoblar 0,1 dan ortiq ekstsentrisset qiymatlarini beradi, bu ularni kuchli ekstsentrik tizimlarga kiritishga imkon beradi. Ulardan 6 tasi 1,4 dan 6,7 kungacha nisbatan kichik davrlarga ega, qolgan 4 tasi ancha katta, 18,8-21,6 kun davrlarga ega. Barcha tizimlarning ekstsentrisseti 0.04 dan 0.55 gacha diapazonda baholanadi va ularning aksariyati xususiy tutilishlarni ko'rsatadi. ASAS J063824-0415.5 va ASAS J105359-4919.9 ikkita tizimlarida, ehtimol, kuchli to'liqlar ta'siri sababli yuzaga kelgan tizimning kamida bitta yulduzi pulsatsiyalarining alomatlari aniqlangan edi.

3-jadval. ASAS ma'lumotlarining klasterli tahlil qilish samaradorligi choralari. DTW-uslub (I) va yangi uslub (II). 2-sinf - ajratilgan tizimlar, 1 yarim ajratilgan tizimlar va 0 – kontaktli tizimlar).

I. FastDTW. BIRCH. Accuracy=0.61				II. BIRCH. Accuracy=0.77			
Class	Precision	Recall	F-score	Class	Precision	Recall	F-score
0	0.58	0.99	0.74	0	0.75	0.91	0.82
1	0.0	0.0	0.0	1	0.66	0.37	0.47
2	0.77	0.5	0.61	2	0.9	0.95	0.92



2-rasm DTW-uslub (a) va yangi uslub (b) bilan klasterlash uchun xatolarning normallashtirilgan matritsasi.

To'rtinchi paragrafda klaster tahlili V873 Per va CV Boo tutilgan qo'shaloq tizimining maydonlari Maydanak rasadxonasining monitoring kuzatuvlarini tahlil qilish uchun qo'llanilgan. Kuzatishlar tahlili o'zgaruvchanlikni tasdiqlash va 3 ta

yulduzni tasniflash imkonini berdi. ATO J041.7194+41.4247 yulduzi 5.94 kunlik davr bilan yaqin tutilgan tizim bo'lib chiqdi, ATO J041.8690+41.3205 yulduzi taxminan 7 kunlik davr bilan sefeid sifatida tasniflandi, USNO-B1.0 1270-0272752 yulduzi 0.33 kunlik davr bilan ellipsoidal tutilgan qo'shaloq tizim sifatida tasniflandi.

Bob bo'yicha quyidagi xulosalar ifodalandi: mashinani o'rganish uslublarida, xususan klaster tahlilida qo'llash uchun ma'lumotlarni taqdim etishning yangi uslubi taklif qilindi va muhokama etildi. Ma'lumotlarning yangi ko'rinishini yaratish quyidagi mezonlarga asoslangan edi: hisoblash vaqtining pasayishi, bo'shliqlar va shovqinlarga befarqlik, miqyoslilik, tahlilning keyingi bosqichlarida nazorat qilinuvchi uslublarni qo'llash qobiliyati. O'tkazilgan tajriba natijalari yangi yondashuvning klasterlash sifati va tezligini sezilarli darajada yaxshilash qobiliyatini ko'rsatadi.

7 ta **ilovalarda** quyidagi jadvallar keltirilgan: Fotometrik ma'lumotlarga ishlov berish uchun skript fayllarining funktsional harakatlari bo'yicha axborot; TRES-4, AP And; SW Lac maydonlaridagi kuzatuvlar; NGC 6811, V873 Per, V2364 Cyg, CV Boo to'dalari to'g'risida axborot. USNO-B1.0 1357-0539679 yulduzining (ToM) va (O-C) minimumlarining momentlari; Qatorlarni $M \times N = 12 \times 12, 10 \times 10, 8 \times 8, 6 \times 6$ binlarga ajratish va yaxshi klasterlash uchun xatolarning tegishli matritsalar uchun umumiy miqdordan 100%, 75%, 50%, 25% o'lchovlarni o'z ichiga olgan ma'lumotlar uchun yangi uslub asosida 9 ta klasterlash uslublari uchun sun'iy vaqt qatorlarining tanlanganlarini klasterli tahlil qilish samaradorligi choralari; TESS katalogi ma'lumotlari va ekstsentrisitet bilan nomzod tutilgan qo'shaloq yulduzlarning parametrlari va alohida obyektlar bo'yicha qaydlar.

XULOSA

Dissertatsiya ishida qo'yidagi asosiy natijalar qo'lga kiritilgan:

Katta hajmga ega bo'lgan bir xil fotometrik ko'p rangli kuzatuvlarni yarim avtomat qayta ishlash uchun dasturiy ta'minot to'plami ishlab chiqilgan va joriy qilingan.

14 ta yulduzning o'zgaruvchanligi aniqlandi yoki tasdiqlandi va sinflandi.

Bir qator to'siluvchan tizimlarning dastlabki fizik va orbital parametrlari olingan.

Mashinaviy o'rganish usullarida, hususan klaster tahlilida yorqinlik egri chiziqlarini ifodalashning yangi usuli taklif qilingan va joriy etilgan.

ASAS-3 o'zgaruvcha yulduzlar katalogida ekstsentrik orbitaga ega bo'lgan, 19 ta yangi to'siluvchan qo'shaloq tizimlarga nomzod topildi va ularning ekstsentrisiteti hamda pereastr uzunligi aniqlangan.

Keltirilgan ekstsentrik orbitaga ($e=0.07$) ega bo'lgan qo'shaloq tizimlardan 2 tasida ehtimol kuchli tulqinlar sababli yuzaga kelgan past amplitudali pulsatsiyalar kashf etilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН РУз

ХАЛИКОВА АЛИНА ВАЛЕРЬЕВНА

**ПОИСК И АНАЛИЗ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПО
НАБЛЮДЕНИЯМ НА ОБСЕРВАТОРИИ МАЙДАНАК**

01.03.01 - АСТРОНОМИЯ

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2024 год

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2024.1.PhD/FM1024

Диссертация выполнена в Астрономическом институте АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (русском, узбекском и короткая аннотация на английском) размещён на веб-странице Научного совета (www.astrin.uz) и Информационного-образовательного портале “Ziynet” (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: **Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович,**
доктор физико-математических наук, академик

Официальные оппоненты: **Гранкин Константин Николаевич,**
доктор физико-математических наук

Мирзакулов Довронбек Оматжонович,
доктор философии физико-математических наук
(PhD)

Ведущая организации: **МГУ имени М.В. Ломоносова,**
Государственный астрономический институт
имени П.К. Штернберга

Защита диссертации состоится 16 августа 2024 года в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 при Астрономическом институте (Адрес: Астрономическая, 33, 100052, г. Ташкент. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Астрономическом институте (регистрационный номер 96Б) по адресу: 100052, г. Ташкент. Астрономическая, 33, Астрономический институт, тел.: (+99871) 235-81-02).

Автореферат диссертации разослан 2 августа 2024 г.
(Реестр протокола рассылки № 1 от 2 августа 2024 г.)

Д.Ш. Фазилова
Заместитель председателя Научного совета
по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н., профессор

И.А. Ибрагимов
ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученой степени, к.ф.-м.н.

А.Б. Абдикамалов
председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире на сегодняшний день изучению переменных звезд уделяется большое внимание. Такие переменные звезды, как двойные и кратные системы являются источником информации об основных звездных параметрах (массах и радиусах звезд), которые являются ключом к пониманию механизмов формирования звезд, звездных популяций, теории эволюции, “демографии” экзопланет, химической и динамической истории Галактики. Однако, есть также много открытых вопросов. Например, существующие механизмы циркуляризации орбит двойных звезд и их эффективность, распределение периода и эксцентриситета в двойных системах и его эволюционный статус, природа существования эффекта О’Коннелла, являются все еще предметом острых дискуссий. В связи с этим Международный Астрономический Союз (МАС) подчеркнул необходимость «обнаружения переменных звезд всех типов с помощью крупномасштабных наблюдений»¹. Переменные звезды можно обнаружить и исследовать, неоднократно наблюдая один и тот же участок неба, что приводит очень большой объем данных.

На сегодняшний день в мире астрономия начинает сталкиваться с проблемой все более возрастающих потоков данных, производимых большими обзорными телескопами, оснащенными ПЗС-приемниками. Именно благодаря их применению уже накоплены и продолжают накапливаться большие объемы цифровых данных во всех обсерваториях по всему миру. Такие объемы данных выходят за рамки того, что астрономы могут проанализировать в более-менее разумные сроки. Поэтому исследователи обращаются к обучению компьютеров анализировать данные, выявляя важные закономерности и связи, которые в противном случае могут быть упущены. Этот процесс называется машинным обучением, а методы, использующие машинное обучение стали незаменимым инструментом современной астрономии. Важно отметить, что машинное обучение создает модели, которые не запрограммированы заранее, а создаются на основе данных, используемых для обучения. Мировой опыт показывает, что с помощью методов машинного обучения, астрономам открывается беспрецедентная возможность делать открытия, которые нельзя предсказать (это область методов, называемых *обнаружением аномалий*). Многочисленные методы машинного обучения в свою очередь создают проблему выбора, как методов, так и выбора описательных характеристик из данных (что требуют множество методов машинного обучения). Здесь назревает вопрос существования в необработанных данных характеристик, которых нет в тщательно отобранной статистике.

¹ Transactions IAU, Volume XXVIII. <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/C08F90F3B066CAEB1440C1A1BAB63F85/S1743921312002840a.pdf/commission-27-variable-stars.pdf>.

В нашей Республике большое внимание уделяется фундаментальным исследованиям, в частности совершенствованию методов анализа данных наблюдений земных и космических телескопов. В целях реализации задач, определенных в «Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»², возникла необходимость решения вопроса повышения эффективности использования проводимых интенсивных мониторинговых наблюдений Майданакской обсерватории Института Астрономии Академии наук Узбекистана, в частности обнаружение и классификация переменных звезд в окрестностях программных объектов с помощью методов машинного обучения.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, определенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», а также в Постановлении Президента от 17.02.2021 г. «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» (№ ПП–4996) и других нормативно-правовых документов, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан: Постановление Президента от 17.02.2021 г. «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» (№ ПП–4996).

Степень изученности проблемы. В настоящее время в мире, такие ученые, как Henrietta Swan Leavitt, Ejnar Hertzsprung, Harlow Shapley, Arthur Stanley Eddington, John Goodricke, Solon Irving Bailey, Edward Charles Pickering, Sergio Van der Maelen, Paul A. Wiegert, Bohdan Paczyński, Margarita Karovska, Robert Paul Kraft, Janet A. Mattei, Krzysztof Stanek, Gordon G. Meyers входят в число зарубежных ученых, внесших большой вклад в область исследования переменных звезд, среди ученых стран СНГ особое место занимают такие ученые как Б. В. Кукаркин, В. Амбарцумян, Г. Шажн, Д. Максудов, В. Альбицкий.

В Узбекистане изучение переменных звезд началось еще в конце 19-го века. Например, согласно Циркуляру Ташкентской Астрономической Обсерватории, за 1932 год, в Ташкентской Астрономической Обсерватории наблюдались визуально и с помощью фотографических наблюдений на нормальном астрографе более трехсот звезд типа RR Lyr, δ Cep, RV Tauri, затменные, и «неисследованные» переменные звезды такими астрономами, как Н. Флоря, Б. Кукаркин, В. Мальцев. За прошедшее время изучались почти все известные типы переменных звезд. Последние 50 лет основное внимание уделялось трем типам объектов: молодым звездам до главной последовательности в областях звездообразования, такие как звезды Т

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 29-yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi farmoni.

Тельца, Herbig Ae и Be звездам и затменным двойным звездам на главной последовательности.

В 70-х годах прошлого столетия наблюдения молодых звезд проводились на Майданаксткой обсерватории в рамках проекта ROTOR. В рамках этого проекта было выполнено систематическое изучение затменных систем в областях интенсивного звездообразования и в скоплениях. Большая работа была проведена и в области астросейсмологии, например, исследование 4-х летних наблюдений звезд типа δ Sct: V830 Her и HD 163032. В период 2013-2014 гг. в рамках проекта SPAREBIS (Tutukov and Bogomazov, 2012), на Майданакской обсерватории проводились длительные мониторинговые наблюдения некоторых известных затменных двойных звезд. Однако методы машинного обучения для изучения переменных звезд в Узбекистане до сих пор не применялись. Данная исследовательская работа считается первой диссертационной работой в этой астрономической области в нашей стране.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Астрономического института АН РУз: ФА-Ф02-Ф027 «Наблюдательные исследования временных вариаций транзитных затмений как метод открытия новых экзопланет» и ФА-Ф02-Ф028. «Исследование динамических процессов и магнитных полей в звездных атмосферах методами астро- и гелиосейсмологии».

Целью исследования является поиск и анализ переменных звезд традиционными методами и с помощью интеллектуальных методов анализа, таких как искусственные нейронные сети и другие методы машинного обучения.

Задачи исследования:

- Разработка программного обеспечения для автоматизации предварительной обработки и многоапертурной дифференциальной фотометрии большого количества наблюдательных данных в среде IRAF;
- Определение основных физических и геометрических параметров на основе полученных кривых блеска;
- Создание искусственных данных с известными параметрами, основанными на реальных данных для отбора наиболее приемлемых методов интеллектуального анализа;
- Разработка и создание программного обеспечения для анализа кривых блеска переменных звезд на основе библиотек интеллектуальных методов языка программирования PYTHON;
- Анализ и интерпретация полученных результатов экспериментов с использованием разработанных программ на основе методов машинного обучения.

Объектом исследования являются физические переменные звезды, затменные двойные системы.

Предметом исследования являются цифровые ПЗС наблюдения, полученные на Майданакской астрономической обсерватории, фотометрические кривые блеска переменных звезд в рамках наземных (ASAS, SuperWASP, ATLAS, ZTF) обзоров, а также баз данных космических телескопов (Kepler, TESS).

Методы исследования. Методами исследования являются методы обработки ПЗС изображений, многоапертурная дифференциальная фотометрия, статистические методы определения характеристик кривых блеска, методы машинного обучения, методы математического моделирования физических и орбитальных параметров затменных двойных систем.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Впервые обнаружена и классифицирована переменность 8 звезд (TYC3556-299-1, TYC3556-130-1, TYC3551-1535-1, TYC3215-1288-1, USNO-B1.0 1280-0618262, TYC3215-906-1, TYC3215-1406-1, USNO-B1.0 1357-0539679).

Подтверждена и классифицирована переменность 6 звезд (ATO J041.7194+41.4247, ATO J041.8690+41.3205, USNO-B1.0 1270-0272752, GSC 02007-00761, BD + 46°2731, USNO-A2.0 1200-08721202).

Получены предварительные физические и орбитальные параметры ряда затменных систем.

Составлен атлас дифференциальных кривых блеска всех фотометрируемых звезд наблюдаемых избранных полей на Майданакской обсерватории (более 400 тыс. индивидуальных экспозиций).

Разработан новый метод представления данных для применения в методах машинного обучения, в частности, кластерного анализа.

Найдены 19 новых кандидатов затменных двойных систем с эксцентрическими орбитами в каталоге переменных звезд обзора ASAS и определены их эксцентриситет и долгота периастра.

Обнаружено наличие пульсаций в 2-х (из вышеназванных 19) двойных системах с эксцентриситетом 0.07 орбит, возможно, вызванных приливными силами.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Создан пакет программ для полуавтоматической обработки большого массива однородных фотометрических многоцветных наблюдений.

Разработан новый метод представления данных для применения в методах машинного обучения, в частности, кластерного анализа.

Результаты данной работы также могут быть включены в специальные курсы для бакалавров и магистров астрономических отделений университетов Республики.

Достоверность результатов исследования обеспечивается использованием современных численных методов и алгоритмов для

обработки данных, критериев оценки эффективности и расчета параметров звездных систем, а также сопоставительным анализом полученных выводов с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость заключается в том, что новый подход к представлению кривых блеска для применения методов машинного обучения перспективен для использования в анализе временных рядов в других областях науки и совершенствования методов машинного обучения. Полученные результаты полезны в понимании некоторых аспектов формирования, эволюции и статистики переменных звезд, уточнения пространственных и физических характеристик затменных звезд, для изучения теорий приливной циркуляризации, изучения природы приливно-возбужденных колебаний.

Практическая значимость заключается в том, что, найденные три новые переменные звезды были включены в каталог ОКПЗ. Результаты данной работы также могут быть включены в специальные курсы для бакалавров и магистров астрономических отделений университетов Республики.

Внедрение результатов исследования. Теоретические результаты и методы исследования, опубликованные в научных работах, использовались в рамках проектов Астрофизического Института им. Фесенкова (см. письмо Астрофизического Института им. Фесенкова, Республика Казахстан, от 5 января 2023 г.) для поиска переменных звезд по результатам потоковой фотометрии с использованием методов машинного обучения.

На основе опубликованных работ по обнаружению новых переменных, 3 звезды были включены в зарубежный каталог "Общий каталог переменных звезд новая версия (ОКПЗ 5.1)", находящийся в общем доступе по электронному адресу <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/index.htm>, и опубликованному в Astronomy Reports (Volume 61, Issue 1, 2017, pp.80-88). Этим 3-м звездам были присвоены собственные имена в системе Общего Каталога Переменных Звезд (ОКПЗ).

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6 международных и республиканских конференциях, а также на семинарах Астрономического института АН РУз.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 21 научных работ, в том числе 8 научных статей в международных научных изданиях и одна статья в республиканском научном журнале, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикаций основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD).

Личный вклад автора. Автор диссертации лично провел предварительную обработку всех упомянутых в работе фотометрических наблюдательных данных телескопов Обсерватории АН РУз Майдакан, (более 400 тысяч индивидуальных экспозиций). Автор разработал

программное обеспечение для автоматизации предварительной обработки и многоапертурной фотометрии большого количества наблюдательных данных. Результаты моделирования затменных систем с помощью пакета РНОЕВЕ принадлежит автору. Частотный анализ данных TESS также выполнил диссертант. Диссертант лично разработал новый подход к представлению кривых блеска для применения методов машинного обучения. Все программное обеспечение с применением библиотек интеллектуальных методов для анализа и визуализации кривых блеска написано автором. Анализ и полученные основные результаты четвертой главы диссертации получены лично автором. В опубликованных работах I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.7, I.8 диссертант отвечал за получение кривых блеска, обсуждение и интерпретацию полученных фотометрических данных. В работах I.1, I.8, I.9 диссертант выполнил численное моделирование двойных систем. В работе I.9 идея, выбор предмета и объекта исследования, методология, анализ и интерпретация результатов принадлежит диссертанту.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка литературы. Основной объем диссертации 169 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность и востребованность темы, сформулированы цель, задачи, объекты и предмет исследования, указано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты теоретическая и практическая значимость работы, представлены сведения по внедрению результатов исследования в практику.

Первая глава «**Обзор современных исследований в области изучения переменных звезд**» состоит из четырех параграфов. Первый параграф посвящен обзору современного представления о типах звездной переменности, раскрывается общая постановка проблемы. Во втором параграфе даны основные характеристики пульсирующих переменных звезд. Пульсационная неустойчивость возникает на определенных стадиях звездной эволюции, поэтому классификация пульсирующих переменных звезд по продолжительности периода, форме кривой блеска, виду спектра и другим наблюдательным признакам отражает их эволюционный статус, то есть принадлежность к группе звезд с определенными значениями массы, возраста и химического состава. В третьем параграфе описаны переменные звезды с неоднородной поверхностной яркостью и/или эллипсоидными формами, переменность которых вызвана осевым вращением относительно наблюдателя. Кроме того, неоднородность распределения поверхностной яркости может быть вызвана наличием пятен или некоторой тепловой или химической неоднородностью атмосферы, вызванной магнитным полем, ось

которого не совпадает с осью вращения. Четвертый параграф посвящён затменным двойным звездам, эффектам затменных двойных звезд, таким как эффект О'Коннелла и эксцентриситет орбиты, вызывающим их причинам и механизмам. Сформулированные выводы главы состоят в том, что классификация переменных объектов обязательно основана на наблюдаемых свойствах – фотометрии, спектральных характеристиках. Конечная цель классификации состоит в том, чтобы попытаться разделить источники переменности на физические категории, чтобы узнать больше о природе источника и причинах переменности. Достижение этой цели осложняется тем, что некоторые, очень разные физические процессы, могут генерировать одинаковое поведение.

Вторая глава **«Методика и автоматизация обработки фотометрических наблюдений»**, состоящая из трех параграфов, посвящена описанию методики обработки мониторинговых фотометрических данных, полученных на Обсерватории Майданак. В первом параграфе описаны принципы и особенности методики обработки фотометрических данных. Обоснована необходимость автоматизации обработки. Во втором параграфе описаны основные этапы обработки наблюдений, получение дифференциальных фотометрических величин и построение референта. А также, этапы построения оптимальной кривой блеска путем поиска апертуры и возможных комбинаций референтных звезд, при котором разброс кривой блеска был бы минимален.

В третьем параграфе описана структура программного обеспечения для полуавтоматической обработки большого количества данных. С целью максимальной автоматизации процесса обработки мониторинговых наблюдений было разработано программное обеспечение (pipeline) в виде набора скриптов, написанных на языке программирования, поставляемого с пакетом IRAF. Pipeline состоит из 14 скриптов на языке IRAF, скрипта на языке графической программы gnuplot и 2-х вспомогательных файлов с параметрами.

Далее приводятся основные выводы главы, которые состоят в следующем: для обработки фотометрических данных в рамках исследования был разработан и применен набор скриптов (pipeline) для полуавтоматической обработки и дифференциальной многоапертурной фотометрии, написанный специально для работы с большим количеством однородных наблюдательных данных.

В третьей главе **«Обнаружение переменных звезд. Традиционный метод»** обсуждаются обнаружение или подтверждение переменности, классификация, определение физических параметров для 11 звезд.

В первом параграфе предоставляется подробная информация о наблюдениях.

Во втором параграфе описано подтверждение, классификация и получение начальных физических параметров затменной двойной звезды GSC 02007-00761.

В третьем параграфе приводится классификация и подтверждение переменности звезды BD+46°2731.

В четвертом параграфе обсуждена обнаруженная пульсационная неустойчивость в затменной двойной системе TYC3556-299-1 и ранее неизвестная переменность звезды TYC3556-130-1.

Пятый параграф посвящен исследованию новой переменной звезды USNO-A2.01200-08721202.

В шестом параграфе описывается проведенная классификация открытой нами переменной звезды TYC3551-1535-1.

Таблица 1. Некоторые параметры и классификация обнаруженных и подтверждённых переменных звезд.

Звезда	Классификация	Звездная величина	Амплитуда	Период, в сутках
TYC3215-1288-1 = USNO-B1.01280-0618346 = 2MASS 22534875+3804030:	неправильная переменная	10.3(22) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.09^m$	
USNO-B1.01280-0618262 = UCAC4641-124229 = 2MASS 22533785+3802543	полуправильная переменная, переменность возможно обусловлена вращательной модуляцией	13.1(29) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.06-0.07^m$	12.7
TYC3215-906-1 = USNO-B1.01279-0627071 = 2MASS 22533785+3802543	двойная система с активными областями	11.9(27) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.05^m$	0.56
TYC3215-1406-1 = USNO-B1.01278-0636029 = 2MASS 22532635+3751194	неправильная переменная	10.6(34) (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.085^m$	
GSC 2007:761 = V* IO Boo = 2MASS J14125096+2432023 = TIC 156563223	затменная двойная система (EW)	11.87 ^m (V)	$\Delta V \approx 0.5^m$	0.271
USNO-B1.01357-0539679 = UCAC4679-131592 = 2MASS 23494870+4543155	затменная двойная система (EW)	16.1(86) ^m (V(AAVSO))	$\Delta R \approx 0.18^m$	0.34(27)
BD+46°2731 = NSV 12196	δ Sct	9 ^m (V)	$\Delta V \approx 11.925$ mmag	0.05277
TYC3556-299-1 = Kepler ID 9470054	Вероятная δ Sct в затменной двойной системе	12 ^m (V)	$\Delta V \approx 6.00 \pm 0.53$ mmag	0.058
TYC3556-130-1 (ОКПЗ)	δ Sct	10.7 ^m (V(AAVSO))	$\Delta V \approx 3.75 \pm 0.41$ mmag	13.364
USNO-A2.0 1200-08721202 = Gaia DR2 4609073823615498880	δ Sct	12.8 ^m (R)	$\Delta R \approx 0.04^m$	0.085
TYC3551-1535-1	δ Sct	11.28 ^m (V)	$\Delta V \approx 0.02^m-0.03^m$	0.1124

Седьмой параграф посвящен анализу также обнаруженной нами новой двойной звезды USNO-B1.0 1357-0539679.

Восьмой параграф посвящается открытию переменности четырех звезд: TYC3215-1288-1, USNO-B1.0 1280-0618262, TYC3215-906-1 и TYC3215-1406-1.

В сводной таблице 1 приведены основные результаты вышеприведенных параграфов.

В четвертой главе **«Анализ кривых блеска переменных звезд методами машинного обучения»** обсуждаются проблемы классификации и обнаружения (которую можно рассматривать, как проблему бинарной классификации или проблему обнаружения аномалий) переменных звезд с помощью интеллектуальных методов анализа.

В первом параграфе определена общая постановка проблемы, заключающаяся в том, что способность классифицировать переменные звезды сильно зависит от способа представления кривых блеска. Выбранные функции должны количественно определять характерный признак переменности - структуру и информационное содержание.

Во втором параграфе описан разработанный автором новый метод представления кривых блеска для задач машинного обучения без учителя (кластеризация). Кластеризация – это процесс разбиения объектов на группы таким образом, чтобы объекты разных групп отличались больше, чем объекты внутри одной группы. Приведены результаты применения нового подхода к искусственным данным с пробелами, а также данным космической миссии Кеплер.

Для оценки эффективности нового метода он сравнивался со стандартной методикой, применяемой для кластеризации временных рядов – вычисление матрицы расстояний с помощью Динамического преобразования времени (DTW - Dynamic Time Warping) и коэффициентов корреляции (CC). Первым критерием для оценки точности этих трех алгоритмов было выбрано то, насколько хорошо кластеризация на их основе может различить искусственно сгенерированные временные ряды с разным типом трендов. Среднее значение каждого ряда и шумовая составляющая были взяты, используя зависимость «звездная величина — стандартное отклонение» реальных наблюдений, используемых в работе. Чтобы исследовать влияние пробелов в данных, было удалено случайным образом часть точек таким образом, чтобы от 100% измерений осталось 75%, 50% и 25% от общего количества. Был приведен ряд критериев оценки качества кластеризации, позволяющий всесторонне оценить получаемое решение. Для данных с количеством точек 100%, 75%, 50% и 25% от общего числа, наиболее эффективные алгоритмы CC – метода, например, GMM, показывают значения точности (Accuracy): 0.91, 0.91, 0.9, 0.87, соответственно; для DTW-метода, GMM-алгоритм показывает точность: 0.96, 0.89, 0.96, 0.84; новый подход для разбиения, например, 10x10 бинов, алгоритм кластеризации Kmeans показывает точность 0.98, 0.99, 0.98, 0.96, соответственно.

Для проверки нового метода на реальных кривых блеска также было проведено сравнение кластерного анализа и морфологического анализа (Gal

Matijević, 2012) кривых блеска из каталога затменных двойных звезд космической миссии Кеплер (Slawson et al., 2011). На рисунке 1 и в таблице 2 приведены меры эффективности кластеризации и матрицы ошибок с новым методом и методом DTW. Класс '0' - разделенные системы, класс '1' - полуразделенные и класс '2' - контактные системы.

Таблица 2 Меры эффективности кластерного анализа используя DTW-метод (а) и новый метод (b).

метод	а) DTW-метод, Accuracy = 57.9%			b) Новый метод, Accuracy = 77.3%		
класс	0	1	2	0	1	2
F1	0.67	0.44	0.58	0.80	0.69	0.84
precision	0.52	0.6	0.78	0.82	0.76	0.74
recall	0.94	0.34	0.46	0.78	0.63	0.99

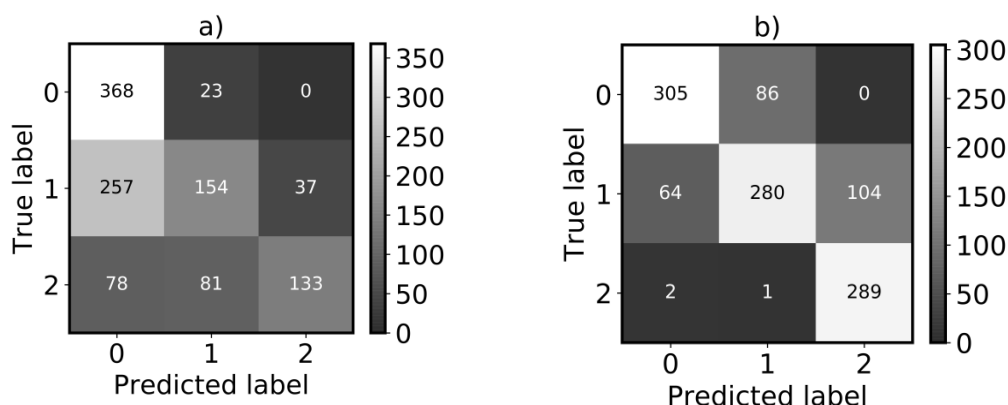


Рисунок 1. Матрицы ошибок для DTW-метода (а) и нового метода (b).

В третьем параграфе четвертой главы для продолжения тестирования нового метода на реальных кривых блеска была выбрана база данных All Sky Automated Survey (ASAS-3). В качестве объектов исследования по-прежнему рассматривались различные типы морфологии затменных систем, т. к. «похожесть» кривых блеска этих систем придает дополнительную сложность нашей проверке эффективности. Новый метод также показал лучшую эффективность и скорость (см. таблицу 3 и рисунок 2).

Программная оболочка для генерации искусственных рядов, анализа и визуализации была написана на языке программирования python 2.7, и, в частности, библиотеки scikit-learn и fastdtw.

Продолжая наш анализ кривых блеска каталога ASAS-3 с помощью кластеризации, следующим шагом стало выявление аномалий в данных. Нашей целью было обнаружение кривых блеска систем с заметным эксцентриситетом орбиты, чья особенность отражается в асимметрии кривой блеска – в частности сдвига вторичного минимума с фазы 0.5. В итоге были отобраны 19 кандидатов новых систем с эксцентриситетом. Для дальнейшего анализа выборки использовались данные наблюдений миссии TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) и пакет программ для моделирования двойных звезд JKTEBOP. Для 10 систем расчеты дают значения эксцентриситета больше 0.1, что позволяет отнести их к сильно

эксцентричным системам. 6 из них имеют относительно небольшие периоды от 1.4 до 6.7 суток, у остальных 4 периоды намного больше, 18.8-21.6 суток. Эксцентриситет всех систем оценивается в диапазоне от 0.04 до 0.55, и большинство из них показывают частные затмения. У двух систем ASAS J063824-0415.5 и ASAS J105359-4919.9 были обнаружены признаки пульсаций по крайней мере одной из звезд системы, вероятно, вызванные приливными эффектами.

Таблица 3 Меры эффективности кластерного анализа данных ASAS. DTW-метод (I) и новый метод (II). Класс 2 - разделенные системы, 1 полуразделенные системы и 0 – контактные системы).

I. FastDTW. BIRCH. Accuracy=0.61				II. BIRCH. Accuracy=0.77			
Class	Precision	Recall	F-score	Class	Precision	Recall	F-score
0	0.58	0.99	0.74	0	0.75	0.91	0.82
1	0.0	0.0	0.0	1	0.66	0.37	0.47
2	0.77	0.5	0.61	2	0.9	0.95	0.92

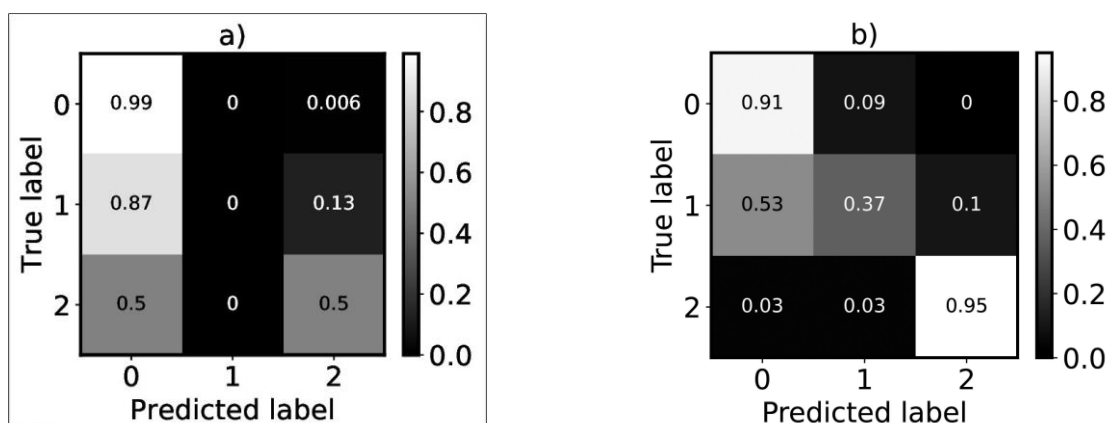


Рисунок 2 Нормированная матрица ошибок для кластеризации DTW-методом (a) и новым методом (b).

В четвертом параграфе кластерный анализ был применен для анализа мониторинговых наблюдений обсерватории Майданак поля затменной двойной системы V873 Per и CV Boo. Анализ наблюдений позволил подтвердить переменность и классифицировать 3 звезды. Звезда АТО J041.7194+41.4247 оказалась тесной затменной системой с периодом 5.94 дней, звезда АТО J041.8690+41.3205 - классифицирована как цефеида с периодом примерно 7 дней, звезда USNO-B1.0 1270-0272752 классифицирована как эллипсоидальная затменная двойная система с периодом 0.33 дня.

Сформулированы следующие выводы по главе: был предложен и обсужден новый метод представления данных для применения в методах машинного обучения, в частности кластерного анализа. Создание нового представления данных базировалось на следующих критериях: уменьшение вычислительного времени, нечувствительность к пробелам и шуму, масштабируемость, способность применения контролируемых методов на

следующих этапах анализа. Проведенные результаты экспериментов показывают способность нового подхода существенно улучшить качество и скорость кластеризации.

В 7 Приложениях приведены следующие таблицы: Информация по функциональным действиям файлов-скриптов для обработки фотометрических данных; Информация о наблюдениях в полях TRES-4, AP And; SW Lac; скопления NGC 6811, V873 Per, V2364 Cyg, CV Boo. Моменты минимумов (ToM) и (O-C) звезды USNO-B1.0 1357-0539679; Меры эффективности кластерного анализа выборки искусственных временных рядов для 9 методов кластеризации на основе нового метода для данных, содержащих 100%, 75%, 50%, 25% измерений от общего количества, для разбиения рядов на бины $M \times N = 12 \times 12, 10 \times 10, 8 \times 8, 6 \times 6$ и соответствующие матрицы ошибок для лучшей кластеризации; Информация каталога TESS и параметры кандидатов затменных двойных с эксцентриситетом и заметки по отдельным объектам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

Разработан и реализован пакет программ для полуавтоматической обработки большого массива однородных фотометрических многоцветных наблюдений

Обнаружена или подтверждена и классифицирована переменность 14 звезд

Получены предварительные физические и орбитальные параметры 22 затменных систем.

Предложен и осуществлен новый метод представления кривых блеска для применения в методах машинного обучения, в частности кластерного анализа

Найдены 19 новых кандидатов затменных двойных систем с эксцентрическими орбитами в каталоге переменных звезд обзора ASAS-3 и определены их эксцентриситет и долгота периастра

Обнаружены малоамплитудные пульсации в 2-х выявленных двойных системах с 0.07 эксцентриситетом орбиты, возможно вызванных приливными силами.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE ASTRONOMICAL INSTITUTE**

**ASTRONOMICAL INSTITUTE OF THE UZBEKISTAN ACADEMY OF
SCIENCE**

KHALIKOVA ALINA VALEREVNA

**SEARCH AND ANALYSIS OF VARIABLE STARS USING MACHINE
LEARNING METHODS FROM OBSERVATIONS AT THE MAIDANAK
OBSERVATORY**

01.03.01 - Astronomy

**DISSERTATION ABSTRACT
OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2024

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2024.1.PhD/FM1024

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Astronomical Institute.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, English, Russian (resume)) languages on the website of the Scientific Council (www.astrin.uz) and on the website of “Ziyonet” informational and educational portal (www.ziyonet.uz).

Supervisors:

Ehgamberdiev Shuhrat Abdumannapovich,
doctor of physical and mathematical sciences,
professor, academician

Official opponents:

Grankin Konstantin Nikolaevich,
doctor of physical and mathematical sciences,

Mirzaqulov Dovronbek Omatjonovich,
PhD

Leading organization:

**P.K. Sternberg Astronomical Institute,
V.M. Lomonosov Moscow State University**

The defence of the dissertation will be held on 16 August 2024, at 11⁰⁰ the meeting of the Scientific Council No. PhD.02/30.12.2019.FM.15.01 at the Astronomical Institute (Address: UBAI, 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67; e-mail: info@astrin.uz)

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through in the Information Resource Center of Astronomical Institute (registered under №_96Б). (Address: 33 Astronomicheskaya street, 100052, Tashkent city. Phone: (+99871) 235-81-02; Fax: (+99871) 234-48-67).

The abstract of dissertation was distributed on 2 avgust 2024.
(Registry record № 1 dated 2 avgust 2024).

D.Sh. Fazilova

Deputy Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., professor

I.A. Ibragimov

Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees, PhD

A.B. Abdikamalov

Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific
Council on Award of Scientific Degrees, D.Ph.-M.S.

INTRODUCTION (Annotation of PhD dissertation)

The research dissertation aims to search and analyse variable stars using traditional and intelligent methods of analysis, such as artificial neural networks and other methods of machine learning.

The tasks of the research:

- Development of software for automating pre-processing and multi-aperture differential photometry of a large amount of observational data in the IRAF environment;
- Determination of the main physical and geometrical parameters of variable stars based on the obtained light curves;
- Design of artificial data with known parameters based on real data and comparison of different methods of intelligent analysis in relation to these data;
- Development and writing of software for the intelligent method of light curve analysis based on libraries of intelligent methods of the programming language PYTHON;
- Analysis and interpretation of experimental results using developed programs based on machine learning methods.

The objects of the research are variable stars, eclipsing binary stars.

The scientific novelty of the research is as follows:

Variability of 8 stars was found and classified (TYC3556-299-1, TYC3556-130-1, TYC3551-1535-1, TYC3215-1288-1, USNO-B1.0 1280-0618262, TYC3215-906-1, TYC3215-1406-1, USNO-B1.0 1357-0539679).

Variability of 6 stars were confirmed and classified (ATO J041.7194+41.4247, ATO J041.8690+41.3205, USNO-B1.0 1270-0272752, GSC 02007-00761, BD + 46°2731, USNO-A2.0 1200-08721202).

Preliminary physical and orbital parameters of some eclipsing binary stars were obtained

The base of light curves of all bright stars of fields observed at the Maidanak Astronomical Observatory (more than 400 000 individual expositions) was made up

A new representation of light curves for application in machine learning methods, in particular cluster analysis, was developed

19 new candidates of eclipsing binaries with eccentric orbits were found in the ASAS Catalog of Variable Stars (ACVS) and their eccentricity and periastron longitude were determined.

2 systems of eclipsing binary stars with eccentric orbits (from the above 19) showed the presence of out-of-eclipse pulsations, possibly caused by tidal forces.

Implementation of the research results. Theoretical research results and methods, published in scientific papers, have been used in the frame of the projects of Fesenkov Astrophysical Institute (letter of Fesenkov Astrophysical Institute, Republic of Kazakhstan, dated January 5, 2023).

Based on the published works on the discovery of new variables, 3 stars were included in the foreign catalog "General Catalogue of Variable Stars new version (GCVS 5.1)", publicly available at <http://www.sai.msu/gcvs/gcvs/index.htm>, and it was published in Astronomy Reports (Volume 61, Issue 1, 2017, pp.80-88). These 3 stars were assigned their own names in the system of General Catalogue of Variable Stars (GCVS).

Personal contribution of the author. The author of the dissertation personally carried out a preliminary processing of all the photometric observational data of the telescopes of the Maidanak Astronomical Observatory mentioned in the work (more than 400 thousand individual exposures). The author has developed software for automating pre-processing and multi-aperture photometry of a large amount of observational data. The results of modelling eclipsing systems using the PHOEBE software also belong to the author. Frequency analysis of the TESS data was also performed by the author. The author also personally developed a new approach to the representation of light curves for the application of machine learning methods. The author coded all software for intelligent light curve analysis. The analysis and the results of the fourth chapter of the dissertation were obtained by the author personally. In published papers I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.7, I.8, the author was responsible for obtaining the light curves, discussing and interpreting the resulting photometric data. In works I.1, I.8, I.9, the author performed modelling of binary systems. In work I.9, the idea, choice of subject and object of research, methodology, analysis and interpretation of the results belong to the author.

Volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, annexes and a list of references. The volume of the dissertation is 169 pages.

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
EʼBOLON QILINGAN ISHLAR ROʻYXATI
LIST OF PUBLISHED WORKS**

I boʻlim (part I; I часть)

1. Egamberdiev Sh.A., Serebryanskiy A.V., Khalikova A.V., Sharapov D.A., Tillaev Y.A., Ajabov A.K., Joʻraev B.Sh., Zakhidov A.S. Light curve analysis of GSC 02007-00761: First observations at Samarkand astronomical observatory: Analiz krivoj bleska zvezdy GSC 02007-00761: Pervye nablyudeniya na Samarkandskoj astronomicheskoy observatorii//Uzbekiston Fizika Zhurnali, 2008, T. 10, N 6, C. 357-363. (01.00.00 // №5)
2. Serebryanskiy A.V., Gaynullina E.R., Strelʼnikov D.V., Khalikova A.V. Variability type of BD+46 d2731//Information Bulletin on Variable Stars, 2013, T. 6047, C. 1., (№ 41. SCImago; IF = 0.166)
3. Serebryanskiy A.V., Gaynullina E.R., Khalikova A.V. TYC3556-299-1 and TYC3556-130-1: a binary member and a single delta Sct star//Information Bulletin on Variable Stars, 2014, T. 6105, C. 1., (№ 41. SCImago; IF = 0.115)
4. Gaynullina E.R., Serebryanskiy A.V., Khalikova A.V. TYC3551-1535-1: a new variable star of delta Sct type//Information Bulletin on Variable Stars, 2015, T. 6135, C. 1., (№ 41. SCImago; IF = 0.134)
5. Gaynullina E.R., Serebryanskiy A.V., Khalikova A.V., Karimov R.G. A variable star in the field around TrES-4//Information Bulletin on Variable Stars, 2015, T. 6136, C. 1., (№ 41. SCImago; IF = 0.134)
6. Bogomazov A.I., Kozyreva V.S., Satovskii B.L., Krushevskaya V.N., Kuznyetsova Y.G., Ehgamberdiev S.A., Karimov R.G., Khalikova A.V., Ibrahimov M.A., Irmambetova T.R., Tutukov A.V. Light equation in eclipsing binary CV Boo: third body candidate in elliptical orbit//Astrophysics and Space Science, 2016, T. 361, N 12, C. 390. (№ 1. Web of Science; IF = 1.622).
7. A.V.Serebryanskiy, E.R.Gaynullina, A.V.Khalikova Variable star TYC3215-906-1: light curve analyses and classification: Physico-Mathematical Series//News of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016, T. 5, N 309, C. 5-11., (№ 35 CrossRef)
8. Gaynullina E.R., Khalikova A.V., Serebryanskiy A.V., Karimov R.G., Burkhonov O.A. New variable stars in the fields of AP And and SW Lac//Open European Journal on Variable Stars, 2019, T. 202, C. 1., (№ 35 CrossRef)
9. Khalikova A.V., Gaynullina E.R., Serebryanskiy A.V. Hunting for overlooked eccentric eclipsing binaries from ASAS-3 survey//New Astronomy, 2022, T. 97, C. 101875., (№ 3; IF = 2.096)

II bo'lim (part II; II часть)

- 10.Халикова А.В., Каримов Р.Г., AR CRB: Фотометрия, модель и поиск третьего тела // «Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых», сборник трудов, Ташкент, 2014, - С. 59-60.
- 11.Халикова А.В., Каримов Р.Г., ТУС 3215-906-1: новая переменная звезда // «Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых», сборник трудов, Ташкент, 2014, - С. 61.
- 12.Халикова А.В., Гайнуллина Э.Р., Обнаружение новой затменной двойной звезды в поле AP And // «Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых», сборник трудов, Ташкент, 2015, - С. 158-160.
- 13.Халикова А.В., Гайнуллина Э.Р., Изменение периода V0873 Peg: четвертый компонент или активность? // «Республиканская научно-практическая конференция молодых ученых», сборник трудов, Ташкент, 2015, - С. 156-158.
- 14.Халикова А., Кластеризация фотометрических кривых блеска // «Фан ва таълимни ривожлантиришда ёшларнинг ўрни», сборник трудов, Ташкент, 2020, - С. 68 – 69.
- 15.Халикова А.В., Новый подход кластеризации временных рядов // «Наука и инновации», сборник трудов международной конференции, Ташкент, 2020, Т 2, -С 525 – 527.
- 16.Халикова А.В., Затменные Системы с большим эксцентриситетом из каталога Asas // «Роль одаренной молодежи в развитии физики», сборник трудов, Ташкент, 2021, -С. 105 – 107.
- 17.Халикова А.В., Морфология затменных двойных систем каталога Asas методами кластеризации // «Роль одаренной молодежи в развитии физики», сборник трудов, Ташкент, 2021, -С. 103-105.
18. Халикова А.В., Результаты кластерного анализа затменных систем каталога ASAS // <<XXI век – век интеллектуальной молодежи>>, сборник трудов, Ташкент, 2021, - С. 113 - 115.
- 19.Халикова А.В. Гайнуллина Э. Р. Обнаружение переменных звезд с помощью методов машинного обучения в наблюдениях Майданакской Обсерватории, Issues of development of modern science and technology: Collection of articles XVII International Scientific and Practical Conference. – Melbourne: ICSRD «Scientific View»., November 26, 2022 in Melbourne, Australia, - С. 37-40.
- 20.А.В.Халикова и Э.Р.Гайнуллина, «Новая двойная звезда в поле CV Boo», Сборник статей LII международной научно-практической конференции, Москва, 2023, - С. 182–183
- 21.А.В.Халикова и Э.Р.Гайнуллина, «USNO-B1.0 1270-0272752 — новая двойная звезда в поле CV BOO», Axborotnomaga O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyai Yosh olimlar kengashi tashabbusi bilan 2023 yil 25-may kuni “XXI asr–intellektual yoshlar asri” mavzusida o'tkazilgan Respublika ilmiy va ilmiy-amaliy anjumani materiallari kiritilgan., No 4(2), 2023, - С. 41–43

