BOTANIKA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.B.39.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI

TO‘XTABOYEVA YULDUZXON ABDUSATTOROVNA

FARG‘ONA VODIYSI EROZIYALANGAN TUPROQLARI SIANOBAKTERIYALARI VA MIKROSUVO‘TLARINING TAKSONOMIK XILMA-XILLIGI VA BIOTEXNOLOGIK POTENSIALI

03.00.05 – Botanika

BIOLOGIYA FANLARI BO‘YICHA FAN DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2025

UDK: 581.92:556.322.2(575.121)

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавления автореферата диссертации доктора наук (DSc)

Contents of dissertation abstract of doctor of science (DSc)

To‘xtaboyeva Yulduzxon Abdusattorovna
Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarida sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning taksonomik xilma-xilligi va biotexnologik potensiali ……..3

Тухтабоева Юлдузхон Абдусатторовна
Таксономическое разнообразие и биотехнологический потенциал цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины)……..27

Tukhtaboeva Yulduzkhon Abdusattorovna
Taxonomic diversity and biotechnological potential of cyanobacteria and microalgae of eroded soils of the Fergana Valley)…….……53

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati
Список опубликованных работ
List of published works……...……57

BOTANIKA INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.B.39.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI

TO‘XTABOYEVA YULDUZXON ABDUSATTOROVNA

FARG‘ONA VODIYSI EROZIYALANGAN TUPROQLARI SIANOBAKTERIYALARI VA MIKROSUVO‘TLARINING TAKSONOMIK XILMA-XILLIGI VA BIOTEXNOLOGIK POTENSIALI

03.00.05 – Botanika

BIOLOGIYA FANLARI BO‘YICHA FAN DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Toshkent – 2025

Biologiya fanlari bo‘yicha fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4.DSc/B239 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Namangan davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.botany.uz) hamda “ZiyoNet” Axborot-ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:	**Tojibayev Komil Sharobitdinovich** biologiya fanlari doktori, akademik
Rasmiy opponentlar:	**Adilov Bexzod Abdullaevich** biologiya fanlari doktori
	Bo‘riyev Sulaymon biologiya fanlari doktori, professor
	Kulikovskiy Maksim Sergeevich biologiya fanlari doktori
Yetakchi tashkilot:	**Farg‘ona davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Botanika instituti huzuridagi DSc.02/30.12.2019.B.39.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil 20 avgust kuni soat 14^{00} dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100125, Toshkent shahri, Do‘rmon yo‘li ko‘chasi, 32-uy. Botanika instituti majlislar zali. Tel.: (+99871) 262-37-95, faks (+99871) 262-79-38, E-mail: botany@academy.uz).

Dissertatsiya bilan Botanika instituti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (74-raqami bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 100125, Toshkent shahri, Do‘rmon yo‘li ko‘chasi, 32-uy, Tel.: (+99871) 262-37-95.

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil 4 avgust kuni tarqatildi.
(2025-yil №13-raqamli reestr bayonnomasi)

O.K. Xojimatov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi o‘rinbosari, b.f.d., professor

A.V. Maxmudov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy kotibi, PhD., katta ilmiy xodim

X.F. Shomurodov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi Ilmiy seminar raisi, b.f.d., professor

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Biosferaning eng muhim qismi bo‘lgan tuproq hozirgi vaqtda sezilarli darajada degradatsiyaga uchragan. Degradatsiyaning turlari ichida eng keng tarqalgani va zararlisi tuproq eroziyasidir (Кузнецов и др, 1994). Tuproqlarni eroziyadan himoya qilish muammosi qurg‘oqchil iqlimli mintaqalarda joylashgan ko‘plab mamlakatlar, shu jumladan O‘zbekiston uchun ham dolzarb masala hisoblanadi. Respublikada tuproqlarni o‘rganish va ularni eroziyadan himoya qilish tobora murakkab vazifaga aylanib bormoqda. O‘zbekiston sharoitida eroziya jarayonlarining rivojlanishi va eroziya manbalarining to‘planishida yon bag‘irlari relyefi katta rol o‘ynaydi. Janub yon bag‘irlarida qor kuchliroq eriydi. Shu sababli, boshqa barcha narsalar teng bo‘lganda, tog‘larning janubiy yon bag‘irlaridagi tuproqlar shimoliy yon bag‘irlaridagi tuproqlarga qaraganda ko‘proq suv eroziyasiga duchor bo‘ladi. O‘zbekistonning tabiiy sharoiti, tuproqlarning xilma-xilligi va ularning eroziyaga moyilligi, eroziyaning tuproq unumdorligiga ta’siri, eroziyaga qarshi kurash chora-tadbirlari, eroziyaga uchragan tuproqlarning unumdorligini oshirish va ulardan oqilona foydalanish bugungi kunning eng dolzarb masalalaridan hisoblanadi.

Tuproq unumdorligi, qishloq xo‘jaligida barqaror ishlab chiqarishning asosi va oziq-ovqat xavfsizligi kafolatidir. Qishloq xo‘jaligida organik moddalarning salbiy balansi tufayli tuproq unumdorligini tiklash muammosi tobora dolzarb bo‘lib bormoqda (Куприченков, Менкина, 2012). Tuproq unumdorligining pasayishiga va qishloq xo‘jaligi yerlarining degradatsiyasiga olib keladigan eng keng tarqalgan omillardan biri eroziyadir. Dunyo ekotizimlari orasida qurg‘oqchil hududlar tuproq algologlari uchun katta qiziqish uyg‘otadi. Chunki kam rivojlanadigan o‘simliklar sharoitida suvo‘tlar bunday ekotizimlarda asosiy fototroflardir (Isichei, 1990).

O‘zbekiston Respublikasi tabiiy resurslarga boy, jumladan, qishloq xo‘jaligi uchun unumdor tuproqlarga, o‘rmonlarga, suvga, mineral resurslarga, shuningdek, xilma-xil o‘simlik va hayvonot dunyosiga ega. UNEP qurg‘oqchilik indeksiga ko‘ra, (0,05-0,20 dan 0,65 gacha) mazkur hudud (tog‘ oldi va tog‘li hududlardan tashqari) havo va tuproq qurg‘oqchiligi ta’sirida bo‘lgan qurg‘oqchil hududga kiradi. Shunga mos ravishda degradatsiya va cho‘llanish jarayonlariga moyilligi yuqori hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasining 2023-yilga mo‘ljallangan atrof-muhit holati to‘g‘risidagi Milliy hisobotiga ko‘ra, sug‘oriladigan yerlarning katta qismi turli darajada degradatsiyaga uchragan: 2 million gektar deflyatsiya, 619 gektar irrigatsiya eroziyasi va 40 ming gektar jarliklar eroziyasiga uchragan. Shunga ko‘ra, eroziyaning biodiagnostikasi, eroziyaga qarshi chora-tadbirlar ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish dolzarb masalalardan biridir. Bundan tashqari, eroziyalangan tuproqlarda biotaning taksonomik xilma-xilligini modda va energiya aylanishlarining harakatlantiruvchisi sifatida baholash muhimdir.

O‘zbekiston Respublikasining 2016-yil 21-sentabrdagi 409-sonli “O‘simlik dunyosini muhofaza qilish va undan foydalanish to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish davlat

qo‘mitasining 2018-yil 26-iyundagi 6-son qarori, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 47-fevral, 47-sonli “O‘zbekiston Respublikasining tabiatni muhofaza qilish to‘g‘risida”gi Qonuni, 2016-yil 21-sentabrdagi 409-sonli O‘zbekiston Respublikasining boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarida ham “Yerlarni cho‘llanishga qarshi va degradatsiya barqarorligiga erishish Milliy harakatlar dasturi” (НАДПО) ga mos vazifalar belgilangan. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida, [1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “2022−2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnikasini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnikasini rivojlantirishning V. “Qishloq xo‘jaligi, biotexnologiya, ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlarga sharh[2]. Tuproq siyanobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarini an'anaviy va zamonaviy tadqiqotlari Albrecht von Haller O‘simlikshunoslik instituti (Germaniya), Texas universiteti (AQSh), Biologik tadqiqot markazi (Chexiya), Anhui universiteti (Xitoy), Qishloq xo'jaligi akademiyasi (Rossiya), Boustan universiteti (Rossiya) kabi yetakchi ilmiy markazlar va oliy o‘quv yurtlarida olib borilmoqda. (Hindiston), Padua universiteti (Italiya), Taras Shevchenko nomidagi Kiyev Milliy universiteti (Ukraina), Melburn universiteti (Avstraliya), Minas-Jerais federal universiteti (Braziliya), Toyama universiteti (Yaponiya) va Botanika instituti (O‘zbekiston).

Mikro‘suvotlar va siyanobakteriyalarning biotexnologik salohiyatini aniqlash va ulardan istiqbolli maqsadlarda foydalanishni aniqlash uchun butun dunyoda quyidagi amaliy natijalar olingan: *Bracteococcus, Muriella, Klebsormidium, Tetradesmus* kabi mikrosuvo‘tlar shtammlari tarkibida ko‘p to‘yinmagan yog‘ kislotalari, omega-6 va omega-3 ning samarali ishlab chiqarish potentsiallari maksimal bo‘lishi ko‘rsatilgan. Linoleik, geksadionik va boshqa kislotalar, shuningdek, bu shtammlardan farmatsevtika, tibbiyot va qishloq xo'jaligida ozuqa va ozuqa qo'shimchalarining tarkibiy qismlari sifatida foydalanish mumkinligi ko'rsatildi (O‘simliklar fiziologiyasi instituti, Rossiya; Almeriya universiteti, Ispaniya).Qishloq xo‘jaligida bioo‘g‘it sifatida mikrosuvo‘tlar yoki siyanobakteriyalardan foydalanish, issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish va tuproq unumdorligini saqlash zamonaviy azot iqtisodiyotini yaxshilashning istiqbolli va foydali yondashuvi hisoblanadi (New Castle universiteti, Avstraliya).

Hozirgi vaqtda dunyoda mikro‘suvo‘tlar va siyanobakteriyalarning degradatsiyalangan tuproqlarning strukturaviy holatini yaxshilash, unumdorligini

[1] O`zbekiston Respublikasi prezidentining 202-yil 28-yanvardagi PF – 60 son «2022−2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi farmoni.

[2] Dissertatsiya bo`yicha ilmiy tadqiqotlar sharxi www.works.doklad.ru, www.dissercat.com, www.istina.msu.ru, researchgate.net, www.fundamental-research.ru, www.webofscience.com va boshqa manbalar asosida ishlab chiqilgan.

oshirish va qayta tiklashdagi muhim rolini asoslashga qaratilgan bir qator ustuvor tadqiqotlar olib borilmoqda. Jumladan, yuqori ekologik ahamiyatga ega bo‘lgan suvo‘tlarining istiqbolli shtammlarini ajratib olish, agrolandshaftlar va tabiiy komplekslarda mikrosuvo‘tlar, sianobakteriyalar asosida inokulyatsiya texnologiyalarini ishlab chiqish, komplekslarni yaratish, yuqori biotexnologik salohiyatga ega suvo‘tlar shtammlarini yetishtirish orqali ulardan farmatsevtika, qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoatida foydalanishning samarali usullarini yaratish kabilardir.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Qurg‘oqchil hududlarda tuproq sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining xilma-xilligi va ularning biotexnologik imkoniyatlari to‘g‘risidagi ma`lumotlar juda kam va tarqoq. Bu tuproq suvo‘tlari bo‘yicha ilmiy dasturlar va tadqiqot loyihalarining kamligi bilan bog‘liq. O‘z navbatida mahalliy ilmiy algologik maktablarning yo‘qligi va xorijiy yuqori malakali mutaxassislar bilan xalqaro hamkorlik yo‘lga qo‘yilmaganligi bilan bog‘liq, (Мельникова, 1953, 1955, 1962; Голлербах и др., 1956; Сдобникова, 1959; Обухова, 1961; Османова, 1967; Шушева, 1985; Хисориев, 1995) yoki oxirgi yillardagi kam sonli tadqiqotlar olib borilgan (Аксенова, 2010; Благадатнова 2012; Зыкова 2013; Горностаева 2015; Новичкова-Иванова 2017). Lekin, bu tadqiqotlar sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning qurg‘oqchil yashash joylarida va ayniqsa eroziyalangan tuproqlarda haqiqiy xilma-xilligini to‘liq aks ettirmaydi. Bundan tashqari, faqat morfologik identifikatsiyalash orqali tuproq sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarning zamonaviy taksonomik tarkibini baholashimkonini bermaydi.

O‘zbekistonda algologik tadqiqotlarning asosiy qismi sholi, paxta va boshqa sug‘oriladigan yerlarda suvo‘tlarni o‘rganishga bag‘ishlangan (Киселева, 1931; Мусаев 1954, 1960; Умарова, 1965; Мусаев, Тошмухаммедова, 1971). O‘z navbatida, ularning aksariyati sezilarli darajada eskirgan bo‘lib, o‘tgan asrning o‘rtalariga to‘g‘ri keladi. Ular jumlasiga Qizilqum cho‘lining bo‘z-qo‘ng‘ir tuproqlari (Троицкая, 1961) va Toshkent viloyatining sug‘orilmaydigan tuproqlari qamrab olingan (Тожибоев, 1973). Faqat keyingi yillarda Farg‘ona vodiysi tuproqlarining asosiy tiplari (To‘xtaboyeva, 2019) va ularning balandlik bo‘yicha tarqalish xususiyatlari (Xusanova, 2019), hamda shahar tuproqlari (Mamasoliyev, 2019) bo‘yicha ilmiy tadqiqot natijalari e’lon qilindi. Ammo, ilmiy adabiyotlarda suvo‘tlari shtammlari va tabiiy sianobakteriya-suvo‘t assotsatsiyalarini molekulyar-genetik aniqlash, shuningdek, ularning biotexnologik imkoniyatlarini baholash asosida qurg‘oqchil hududlar, jumladan, Farg‘ona vodiysidagi eroziyaga uchragan tuproqlarning suvo‘tlari florasi haqida ma’lumotlar keltirilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya tugallangan oliy o‘quv yurti yoki ilmiy tadqiqot muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Ilmiy-tadqiqot ishlari Namangan davlat universiteti Biologiya kafedrasi “Farg‘ona vodiysi o‘simlik va hayvonot dunyosi: tabiiy resurslar, oqilona foydalanish va elektron ma’lumotlar bazasi” rejasiga asosan algologiya laboratoriyasida olib borildi.

Tadqiqot maqsadi Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarining

sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining taksonomik xilma-xilligini aniqlash, tahlil qilish va ayrim istiqbolli shtammlarning biotexnologik imkoniyatlarini baholashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

- eroziyaga uchragan tuproqlardan tuproq-algologik namunalar olish, aralash va algologik toza kulturalarni yetishtirish, izolyatsiyalash;
- morfologik va molekulyar genetik tahlil asosida sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlar shtammlarini aniqlash;
- Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlar algoflorasining kompleks taksonomik tahliliniamalga oshirish;
- Farg‘ona vodiysidagi eroziyaga uchragan tuproq suvo‘tlari jamoalari “yashil” qoplamining DNK metabarkoding tahlilidan foydalanish;
- sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning ayrim istiqbolli shtammlarining biotexnologik salohiyatini aniqlash;
- mikrosuvo‘tlarni inokulyatsiya texnologiyasi va tuproqni himoya qilish chora-tadbirlarining maxsus usullaridan foydalangan holda, suvo‘tlarning tuproq xususiyatlariga ta’sirinianiqlash.

Tadqiqot ob’yekti. Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarining sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlari.

Tadqiqot predmeti. Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarning sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining taksonomik bioxilma-xilligi va biotexnologik salohiyati.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiyada taksonomik, mikrobiologik, fizik-kimyoviy, bioinformatik, molekulyar-genetik va biokimyoviy usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

- Ilk bor metagenomik, morfologik va molekulyar-genetik yondashuvlar asosida Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarda 4 bo‘lim, 9 sinf, 20 tartib, 58 oila va 90 turkumga mansub 141 turga mansub sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning taksonomik tarkibi aniqlangan;
- DNKni metabarkodlash orqali Farg‘ona vodiysining eroziyaga uchragan tuproqlarida mikrosuvo‘tlari va sianobakteriyalarning dominantlik roli aniqlanngan va klassik usullar bilan solishtirish orqali ularning maksimal taksonomik xilma-xilligi baholangan;
- Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarning algosenozlarini kompleks tahlil qilish asosida, fan uchun bitta yangi tur aniqlanib, to‘liq tavsifi berilgan. Algoflora uchun uchta yangi tur tavsifga tayyorlandi va metagenomik tahlil yordamida ayrimlarining biotexnologik salohiyati baholangan;
- *Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* (Chlorophyta) va *Klebsormidium* (Charophyta) avlodlariga mansub shtammlar katta miqdorda to‘yinmagan yog‘ kislotalarining samarali ishlab chiqaruvchilari ekanligi aniqlangan;
- Yuqori samarali sekvens usullaridan foydalanish orqali, *Nodosilinea* sianobakteriyasining genomiga to‘liq funksional izoh berilgan;

- Farg‘ona vodiysidagi eroziyaga uchragan tuproqlarning unumdorligi yaxshilashda va tuproqni muhofaza qilish tadbirlarini o‘tkazishda qo‘llash uchun *Klebsormidium* turkumiga mansub mikrosuvo‘tlarni inokulyatsiya texnologiyasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari algoflorasini to‘liq inventarizatsiyalash Markaziy Osiyoning qurg‘oqchil ekotizimlari tuproqlaridagi sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning xilma-xilligini o‘rganishga katta hissa qo‘shadi.

Tadqiqot davomida olingan ma’lumotlar to‘plamidan ekologiya va atrof – muhitni mufozafa qilish tashkilotlari uchun turli xil milliy floristik hisobotlar va mintaqaviy kadastrlarni tuzish uchun foydalanishga tavsiya etiladi.

Sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning barcha turlarining taksonomik xilma-xilligi va geografik tarqalishi to‘g‘risidagi ma’lumotlar GBIF xalqaro ma’lumotlar bazasiga kiritilgan (Global Bioxilma-xillik Axborot Facility, www.gbif.org). Natijada eroziyalangan tuproqlar algoflorasining biogeografik ma`lumotlaridan ochiq foydalanish imkoniyati yaratilgan.

Molekulyar – genetik tahlillar asosida olingan barcha nukleotidlar ketma-ketligi GenBank, NCBI xalqaro genetik ma’lumotlar bazasiga joylashtirilgan, natijada, eroziyalangan tuproqlar algoflorasi boshqa tuproq va suv havzalari algofloralari bilan qiyosiy tahlil qilish imkoniyatini beradi.

Fan uchun siyanobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning yangi turlariga nomzodlarning ayrim shtammlari yuqori biotexnologik salohiyati, shuningdek, ulardan oziq-ovqat, farmasevtika sanoati va tuproqni tiklash faoliyatida samarali foydalanish imkoniyatini beradi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Dissertatsiya tadqiqotida bayon etilgan asosiy qoidalar, xulosalar va tavsiyalar ishonchli bo‘lib, olingan natijalar tadqiqot ob’yektiga mos keladi va Farg‘ona vodiysining qurg‘oqchil mintaqalaridagi sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning taksonomik xilma-xilligini hozirgi holatini aks ettirgan.

Sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning xilma-xilligini o‘rganish uchun ishlatiladigan kulturali va metagenomik yondashuvlar algologik tadqiqotlarda ham an’anaviy, ham eng zamonaviy hisoblanadi. Bu usullarni kompleks tarzda qo‘llash orqali algofloraning zamonaviy taksonomik tarkibi shakllantirilgan.

Belgilangan vazifalar qo‘llanilgan materiallar va usullar bilan to‘liq yoritilgan va natijalar bevosita muhokama qilingan. Shuningdek, mazkur yo‘nalishdagi yetakchi ilmiy tashkilotlar – Rossiya FA Pushino Biologik tadqiqotlar ilmiy markazi, Temirzayev nomidagi O‘simliklar fiziologiyasi institutlari bilan hamkorlikda tadqiqotlar olib borilgan. Algologiya yo‘nalishida suvo‘tlarning taksonomik va biotexnologik potensiali uchun muhim natijalar kiritilgan. Olingan barcha natijalar nufuzli ilmiy jurnallarda chop etilgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Ilk bor kulturali va metagenomik yondashuvlarni suvo‘tlar florasida klassik usullar bilan birgalikda qo‘llagan holda, Farg‘ona vodiysining eroziyalangan tuproqlarida

sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning taksonomik xilma-xilligi o‘rganilgan. Olingan natijalar hozirgi vaqtda yuksak o‘simliklar va umurtqali hayvonlarning taksonomiyasi va biogeografiyasi bo‘yicha zamonaviy ma’lumotlar ustunlik qilayotgan Farg‘ona vodiysining mahalliy bioxilma-xilligini o‘rganishda mavjud ilmiy-amaliy bo‘shliqlarni to‘ldirishda katta ilmiy ahamiyatga ega.

Sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning yangi turlari topilgan va tavsiflangan, ularning ayrimlarining biotexnologik imkoniyatlari baholangan. *Klebsormidium* turkumiga mansub mikrosuvo‘tlarni inokulatsiya usulini ishlab chiqilgan texnologiyasi tuproq unumdorligini oshirishga imkon bergan va tuproqni muhofaza qilish, hamda tuproqni tiklash tadbirlarida istiqbolli ilmiy ob’yektlar sifatida tavsiya etilgan. Farg‘ona vodiysidagi tuproq sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarning taksonomik xilma-xilligi va geografik tarqalishi bo‘yicha olingan yangi ma’lumotlar tuproqlarning ekologik holatini biomonitoring va bioindikatsiya qilish uchun asos bo‘lishi ishning amaliy ahamiyatini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining taksonomik xilma-xilligi va biotexnologik potensialini o‘rganish bo‘yicha olingan ilmiy-amaliy natijalar asosida:

Farg‘ona vodiysining eroziyalangan tuproqlarida sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning xilma-xilligi va biotexnologik salohiyati bo‘yicha (https://doi.org/10.15468/wg684r) ma’lumotlar to‘plami Global bioxilma-xillik axborot tizimiga (GBIF) joriy etilgan (25.09.2024. №015). Natijada, tuproq algoflorasini Farg‘ona vodiysi arid mintaqasida geografik tarqalish holatlarini ko‘rsatuvchi global axborot bazasidagi ma’lumotlarini muayyan darajada boyitish imkonini bergan.

Molekulyar – genetik tahlillar asosida olingan barcha nukleotidlar ketma-ketliklari PQ504911, PQ504912, PQ488471, PQ488472 (16S rRNK); OR852641-OR852650, PQ490563-PQ490566 (ITS2); OR838744 (rbcL) raqamlari ostida NCBI GenBank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/) da saqlangan. Integratsiyalashgan yondashuvdan foydalanish Farg‘ona vodiysi tuproq algoflorasining taksonomiyasi bo‘yicha yangi ma’lumotlarni olish imkonini bergan, bu nafaqat mahalliy turlar xilma-xilligini sezilarli darajada to‘ldirdi, balki mintaqaviy (Markaziy Osiyo) miqyosda zamonaviy g‘oyalarni kengaytirdi, fan uchun noma’lum bo‘lgan yangi sianobakteriya va mikrosuvo‘tlar turlarini aniqlash imkonini bergan.

Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarning suvo‘tlari florasining yagona ma’lumotlar bazasi O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi faoliyatiga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi 13.12.2024 y., 4/1255–2767-son ma’lumotnomasi). Natijada, O‘zbekiston Respublikasida ushbu taksonomik guruhning bioxilma-xilligi bo‘yicha birinchi raqamli resurs bo‘lib, mamlakat tuproq algoflorasini to‘liq inventarizatsiya qilish, Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari monitoringini yuritish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiya qilish. Mazkur tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarda muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarini nashr etish. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 29 ta ilmiy ish nashr etilgan, shu jumladan Web of Science va Scopus bazalarida indeksiyalangan jurnallarda 2 ta maqola, O’zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, Fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 13 ta maqola, davriy nashrlarda 2 ta maqola, 12 ta tezis, jumaldan: 5 ta xorijiy va 7 ta respublika konferensiya materiallarida chop etilgan.

Dissertatsiya hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya tarkibi kirish, sakkizta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovadan iborat. Dissertatsiya hajmi 156 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida mavzuning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob’ekti va predmeti tasniflangan, Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy qilinishi, nashr etilgan ishlar hamda dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Arid ekosistemasida eroziyalangan tuproqlar sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining taksonomik xilma-xilligi va vazifalari”** deb nomlangan birinchi bobida O‘rta Osiyo tuproq algoflorasining taksonomik tarkibi haqida tahliliy ma’lumotlar berilgan. O‘zbekistonda algologik tadqiqotlar asosan sholi, paxta va boshqa sug‘oriladigan yerlar, o‘zlashtirilmagan tuproqlar, shahar tuproqlarining tur xilma-xilligini o‘rganishga bag‘ishlangan.

Taksonomik xilma-xillikni o‘rganish ko‘plab nazariy va amaliy muammolarni hal qilishning kalitidir. Zamonaviy molekulyar-genetik usullardan foydalanish organizmlarni, jumladan, mikrosuvo‘tlar va sianobakteriyalarni aniqlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Fanga noma’lum bo‘lgan yangi turlar haqidagi ma’lumotlarning tez o‘sishi kuzatildi (Мальцев, 2023). Ushbu fan sohasining zamonaviy yutuqlaridan foydalanish Markaziy Osiyoda birinchi marta Farg‘ona vodiysining eroziyalangan tuproqlari sharoitida klassik floristik usullarni zamonaviy molekulyar genetik, genomik va biokimyoviy tadqiqot usullari bilan uyg‘unlashgan kompleks yondashuv asosida mikrosuvo‘tlar va sianobakteriyalarning taksonomik bioxilma-xilligini o‘rganish o‘tkazilgan. Integratsiyalashgan yondashuvdan foydalanish Farg‘ona vodiysi tuproq algoflorasining taksonomiyasi bo‘yicha yangi ma’lumotlarni olish imkonini berdi, bu nafaqat mahalliy turlar xilma-xilligini sezilarli darajada to‘ldirdi, balki mintaqaviy (Markaziy Osiyo) miqyosda zamonaviy g‘oyalarni kengaytirdi. Integratsiyalashgan yondashuvning yana bir muhim natijasi fan uchun suvo‘tlar florasining yangi turlarini kashf qilish va tavsiflash bo‘lib, bu olib borilgan tadqiqotlarning muhim natijasidir.

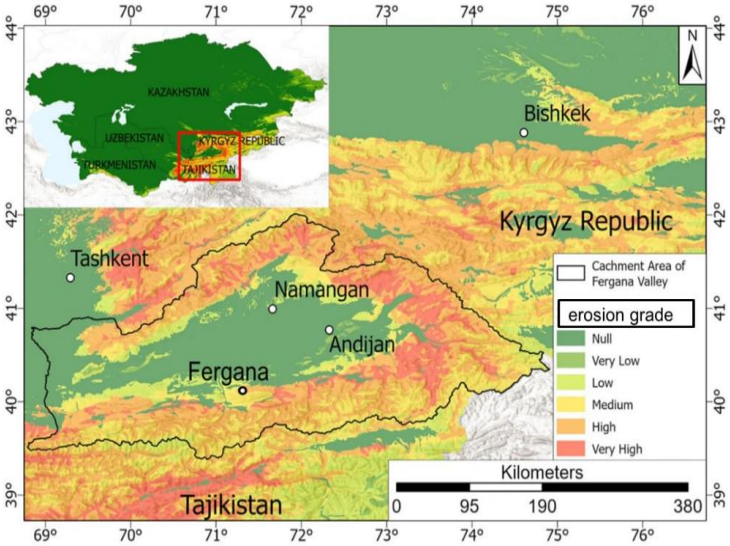
Bobning **“Himoya mexanizmlari va biotexnologik salohiyati”** deb nomlangan ikkinchi bo‘limida adabiyot ma’lumotlari asosida, qurg‘oqchil ekotizimlarning sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlari yuqori harorat va qurg‘oqchilik, namlik va

ozuqa moddalarining yetishmasligidan turli xil himoya mexanizmlariga ega ekanligi va eroziyadan muhofaza choralarida sianobakteriya - mikrosuvo‘tlarga asoslangan texnologiyani qo‘llanilishi haqida ma’lumotlar keltirilgan. Mikrosuvo‘tlarni biotexnologik salohiyati yuqori ekanligi – Farg‘ona vodiyasi eroziyalangan tuproqlaridan birinchi marta aniqlangan *Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* (Chlorophyta) va fan uchun yangi tur - Klebsormidium (Charophyta) turkumlariga mansub shtammlar katta miqdorda to‘yinmagan yog‘ kislotalarining samarali ishlab chiqaruvchilari ekanligini ko‘rsatdi va uning asosida farmasevtika, oziq-ovqat, qishloq xo‘jaligi sanoatlarida foydalanish imkoniyatlari bo‘yicha ma’lumotlar yoritilgan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot hududining fizik-geografik xususiyatlari”** deb nomlangan ikkinchi bobida Farg‘ona vodiysining geografik o‘rni, relyefi, iqlimi, o‘simliklar qoplami, tuproq tiplari haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Betakror geografik joylashuvi, relyefi va iqlim sharoitining xilma-xilligi Farg‘ona vodiysining turli tuproq qoplamini belgilab bergan. Bu tuproqlar yuqori antropogen ta’sir tufayli turli darajada degradatsiyaga uchragan. Tabiiy landshaftlar degradatsiyasining eng yorqin shakllaridan biri tuproq eroziyasidir. O‘zbekistonda tuproq eroziyasining turi va darajasi to‘g‘risida to‘liq ma’lumotlar X.Maxsudov (2018) ma’lumotlari asosida keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot ob’yekti va usullari”** deb nomlangan uchinchi bobda Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlaridan sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlar shtammlarini namuna olish, ajratib olish, yetishtirish va tozalash usullari, mikroskopiya va morfologik tahlillari, molekulyar genetik va biokimyoviy tahlillari, DNK-metabarkoding tahlili, to‘liq genom sekvensi, tuproqlarning fizik-kimyoviy va inokulyatsiya bo‘yicha laboratoriya tajribasi keltirilgan. Bobda, shuningdek, tadqiqot ob’ektlari va hududi haqida ma’lumot berilgan.



1-rasm. Tadqiqot hududi xaritasi

Jami 2018 yildan 2024 yilgacha bo‘lgan tadqiqotlar davrida Farg‘ona vodiysining eroziyaga uchragan sakkizta hududidan hammasi bo‘lib 238 ta tuproq-algologik namunalar olingan. Andijon viloyatida Jalaquduq tumanining adirli hududlari, Namangan viloyatida Chust, Pop, Chortoq, To‘raqo‘rg‘on va

Yangiqo‘rg‘on tumanlari, Farg‘ona viloyatida Chimyon va Yaypan tumanlaridan tuproq-algologik namunalar olingan va o‘rganilgan (1-rasm).

Dissertatsiyaning **“Yashil qoplamalar DNK-metabarkodingi va kulturalar identifikatsiyasi asosida sianobakteriya va mikrosuvo‘tlarning xilma-xilligi”** deb nomlangan to‘rtinchi bobda Farg‘ona vodiyasi eroziyalangan tuproqlarining sianobakteriya va mikrosuvo‘tlarni aniqlash bo‘yicha to‘liq ma’lumotlar keltirilgan. Bobning birinchi bo‘limida eroziyaga uchragan tuproqlarning fizik-kimyoviy tahlillari natijalari keltirilgan bo‘lib, sakkizta o‘rganilayotgan hudud tuproqlarining fizik ko‘rsatkichlari aniqlandi: zarrachalar hajmining taqsimlanishi, pH, chirindi miqdori, harakatlanuvchi fosfor, almashinadigan kaliy va ammoniy. Eng past ko‘rsatkichlarga ega bo‘lgan hududlar Farg‘ona viloyatidagi Chimyon, Sho‘rsuv va Pop hududlari bo‘lgan. DNK metabarkodlash natijalari Farg‘ona vodiysining eroziyaga uchragan tuproqlarida mikrosuvo‘tlari va sianobakteriyalarning dominant rolini aniqlash va klassik usullar bilan solishtirganda ularning maksimal taksonomik xilma-xilligini aniqlash imkonini bergan.

Bobning **“Sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning morfologik identifikatsiyasi”** deb nomlangan ikkinchi bo‘limida tadqiqot hududidan aniqlangan turlarni morfologik tuzilishi, hujayra tarkibi va uchrash joylari haqida batafsil ma’lumotlar keltirilgan. Tuproq namunalaridan jami 20 dan ortiq toza shtammlar ajratilgan, ulardan eng ko‘pi Namangan viloyatining eroziyalangan tuproqlaridan olingan namunalarga to‘g‘ri kelgan.

Sianobakteriyalar geterotsit bo‘lmagan filamentli taksonlar *Microcoleus, Phormidium, Nodosilinea* va *Lyngbyaga* o‘xshash turkumlar bilan ifodalangan.

Phormidium irriguum VKM Al-492 shtammi (2-rasm) ning morfologik belgilar o‘ziga xos tuzilishga ega.

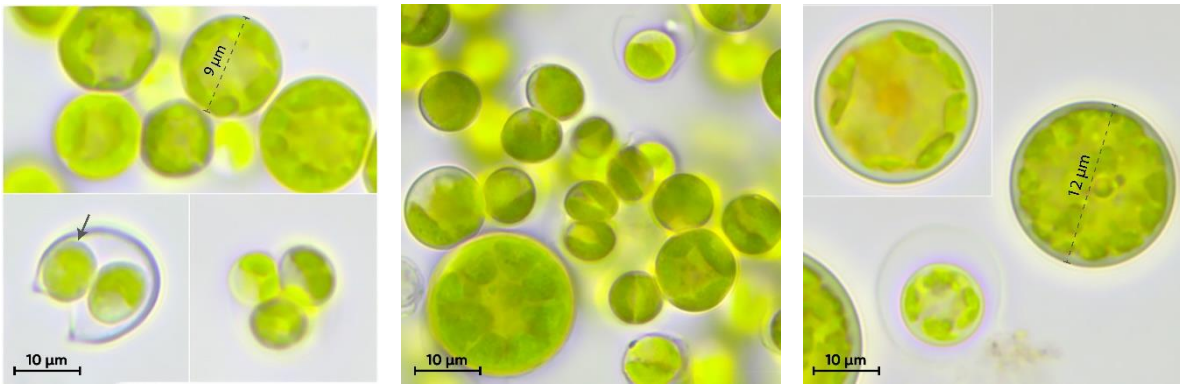


2-rasm. *Phormidium irriguum* VKM Al-492 shtammining morfologiyasi. Shkala 10 mkm.

Eukariotik mikrosuvo‘tlardan *Chromochloris, Bracteacoccus, Pseudomuriella, Deuterostichococcus, Pseudostichococcus, Tetratostichococcus, Interfilum, Chlorella*, sarsinoidlardan *Chlorosarcinopsis* va *Spongiosarcinopsis,* koloniyali tuzilishli *Tetradesmus* va ipsimon *Klebsormidium* turkumlarining morfologik va molekulyar genetik tahlillari ma’lumotlari o`rganilgan.

Chromochloris zofingiensis VKM Al-437 shtammi Rezaksoy adirlaridan aniqlangan. Hujayralari bitta, yetuklari sharsimon, yosh va avtosporalari sharsimon,

tuxumsimon yoki ko‘p burchakli (3.a-rasm). Algoflora tarkibida aniqlangan barcha turlarni, shu jumladan, *Pseudomuriella schumacherensis* VKM Al-444 (3.b- rasm), *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443 (3.c - rasm) shtammlarining to‘liq morfologik va molekulyar - genetik tavsifi o‘rganilgan.



a b c

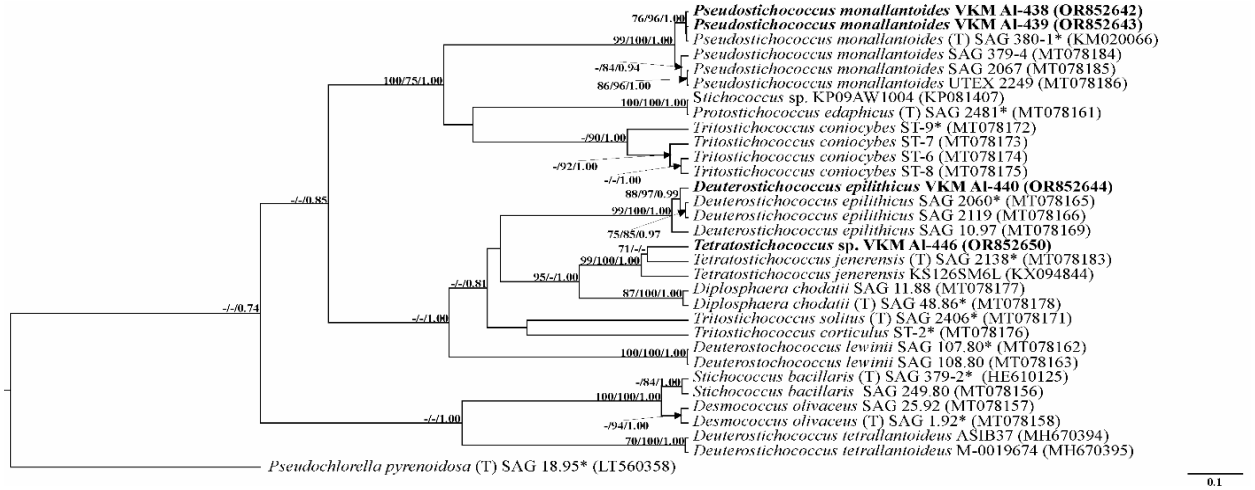
3-rasm. *Chromochloris zofingiensis* VKM Al-437 (a) shtammining morfologiyasi, avtosporalari (a); *Pseudomuriella schumacherensis* VKM Al-444 (b); *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443(c). shkala 10 mkm.

"Gulli dog‘lar" - qoplamalarining sianobakteriya va mikrosuvo‘tlari. Chortoq adirliklari (Chortoq tumani) yon bag‘irlarida to‘plangan tuproq-algologik namunalarda sianobakteriyalar va suvo‘tlarning 26 xil morfotiplari qayd etilgan. Birinchi ChA-1 namunasida 16 ta takson topilgan: *Leptolyngbya, Microcoleus, Nostoc, Tolypothrix, Trichocoleus va Tychonema* avlodining filamentli sianobakteriyalari; charofit suvo‘tlari *Klebsormidium* sp. va *Interfilum* sp.; *Deuterostichococcus, Diplosphaera, Elliptochloris, Leptosira, Pseudococcomyxa, Watanabea* avlodining yashil suvo‘tlari va Ulvophyceae sinfiga kiruvchi suvo‘tlari; *Hantzschia* turkuming diatom suvo‘tlari va ikkinchi ChA-2 namunalarida 15 takson: filamentli sianobakteriyalar *Microcoleus* sp. va *Trichocoleus* sp.; charofit suvo‘tlari *Klebsormidium* sp. va *Interfilum* sp.; *Bracteacoccus, Chlorella, Chlorosarcinopsis, Edaphochloris, Leptosira, Planophila, Pseudomuriella, Stichococcus, Tetracystis, Tritostichococcus* avlodlarining yashil suvo‘tlari; kichik diatomlar aniqlandi.

Rezaksoy (Chust tumani) adirlari yonbag‘irlaridan olingan namunalarda sianobakteriyalar va suvo‘tlarning kamroq turli 17 morfotiplari aniqlangan – ulardan 7 tasi birinchi RA-1 namunasida bo‘lgan: *Bracteacoccus, Chlamydomonas, Chlorosarcinopsis, Desmochloris,* kichik diatom va sianobakteriya *Trichocoleus* va ikkinchi RA-2da 14: *Microcoleus* va *Trichocoleus* avlodining filamentli sianobakteriyalari; charofit suvo‘tlari *Klebsormidium*; *Bracteacoccus, Chlorella, Chlorosarcinopsis, Edaphochloris, Graesiella*, *Pseudomuriella, Spongiochloris, Stichococcus* avlodlarining yashil suvo‘tlari; sariq-yashil suvo‘tlari *Botrydiopsis* va *Heterococcus*; shuningdek kichik diatomlar aniqlangan.

Bobning **“16S rRNK, rbcL va ITS2 spacer genlarini tahlil qilish asosida sianobakteriyalar va mikrosuvo‘t shtammlarining molekulyar-genetik identifikatsiyasi”** deb nomlangan uchinchi bo‘limida Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarida birinchi marta sianobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning kulturalari

genetik xilma-xilligi o‘rganilgan va yangi nomzod taksonlar taklif qilingan. O‘tkazilgan tahlilga ko‘ra, *Phormidium irriguum* VKM Al-492 shtammi *Oscillatoria, Lyngbya* va *Phormidium* avlodlari vakillari sifatida belgilangan shtammlarni, jumladan *P.irriguum*ni birlashtiruvchi shtammiga kiritilgan. Guruh uchun statistik yaqinlik 83% ni tashkil qiladi.



4-rasm. ITS2 (375 n) ichki transkripsiyalangan spacer ketma-ketligi asosida Bayes usulida qurilgan *Stichococcus*-clad yashil mikrosuvo‘tlarining filogenetik daraxti

ITS2 tahlili. Molekulyar genetik tahlilga ko‘ra VKM Al-446 shtammi *Tetratostichococcus jenerensis* shtammlari bilan guruhlangan. ITS2 va haqiqiy SAG 2138 shtammi o‘rtasidagi genetik farqlar darajasi 3,5%, KS126SM6L shtammi bilan esa 2,1% ni tashkil etdi. Bunday holda, KS126SM6L shtammini klasterning boshqa vakillaridan ajratib turadigan I (10 bp) bo‘limining o‘zgaruvchan hududida 1 ta CBC topildi. *Tetratostichococcus* turi monotipik bo‘lganligi va faqat uchta aniqlangan ITS2 ketma-ketligini o‘z ichiga olganligi sababli, bu guruh qo‘shimcha o‘rganishni talab qiladi, shuning uchun VKM Al-446 shtammi *Tetratostichococcus* sp. holida qabul qilindi (4-rasm).

Dissertatsiyaning **“Eroziyalangan tuproqlar “*gulli*” dog‘larining sianobakteriya va mikrosuvo‘tlarining ITS2 va 16S rRNK V3-V4 mintaqasi DNK-metbarkodingi”** deb nomlangan to‘rtinchi bo‘limida 16S rRNK geni va ITS2 spacerning V3-V4 mintaqasini yuqori o‘tkazuvchanlik sekvensiyasi asosida Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarda sianobakteriyalar va suvo‘tlarining xilma-xilligi birinchi marta taqdim etilgan. DNK-metbarkodingi tahlilida 16S rRNK xloroplast genining V3-V4 mintaqasidan foydalanish suvo‘tlar florasida yashil suvo‘tlarining *Edaphochlorella, Pseudomuriella, Watanabea* kabi avlodlarini, shuningdek, diatomlardan *Bacillaria, Fistulifera, Entomoneis* va *Charophyta* bo‘limidan *Klebsormidium* turkumlarini qo‘shimcha ravishda aniqlash imkonini bergan. Sianobakteriya va mikrosuvo‘tlar bilan birgalikda tuproq bakteriyasi jamoalari bo‘limlari aniqlanilib, ular tadqiqot hududi Chortoq va Rezaksoy adirliklarining “gulli” dog‘lar qoplamalaridan olingan. ChA-1 namunasida bakteriyalar 7; ChA-2 namunasida 5; RA-1, 2 namunalarida esa 5 bo‘limdan iborat bo‘ldi. Aniqlangan bakteriya bo‘limlari orasida Pseudomonadota bo‘limi barcha hududlarda tarqalish bo‘yicha dominantlik qilgan.

ITS2 profil ma’lumotlariga ko‘ra, ChA-1dan tashqari barcha namunalarda Viridiplantae olami vakillari ustunlik qilgan, ularning aksariyati Chlorophyta bo‘limining yashil suvo‘tlari edi. Bunday holda, RA-1 namunasida moxlar (Bryophyta) yo‘q edi, RA-2 namunasida ular 7,9%, ChA -1da - 0,9% va ChA -2da - 15,8% ni tashkil etdi. ChA-1 namunasi (87,5%) bundan mustasno, zamburug‘larning nisbati 28,9 dan 32,5% gacha o‘zgargan. Protozoa mikroblar jamoasining kichik komponenti (0,3%) sifatida faqat ChA - 2 namunasida aniqlangan.

ITS2 shtrix-kodi yordamida faqat yashil suvo‘tlar (Chlorophyta) aniqlandi. Xloroplast 16S rRNK genidan foydalanish Viridiplantae olamini va SAR superguruhidan taksonlarni qo‘shimcha aniqlash imkonini berdi.

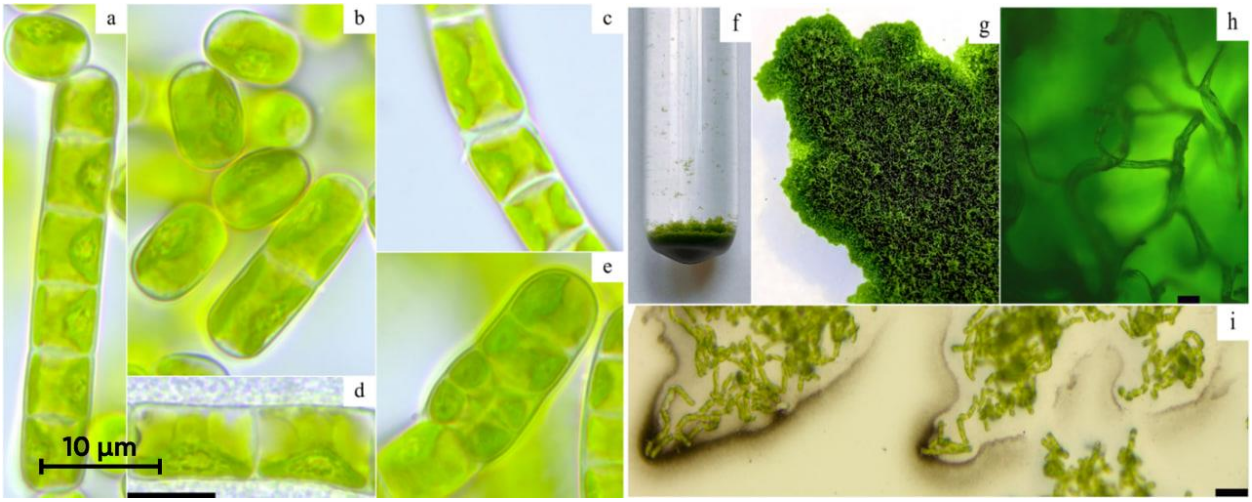
Dissertatsiyaning **“Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarining fan uchun yangi bo‘lgan mikrosuvo‘tlari va sianobakteriyalarining morfologik, molekular-genetik tahlili”** deb nomlangan beshinchi bobida Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarning mikrosuvo‘tlari va sianobakteriyalarining taksonomik tarkibini inventarizatsiya qilish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar davomida molekulyar-genetik tahlil ma’lumotlariga ko‘ra tuproq algoflorasining hozirda ma’lum bo‘lgan turlariga mos kelmaydi. Keyingi integral yondashuvdan foydalanish natijalari shuni ko‘rsatdiki, shtammlar fan uchun yangi bo‘lgan taksonlarga tegishli bo‘lgan. E’tiborlisi, O‘zbekiston va umuman O‘rta Osiyoda zamonaviy algologiya fani tarixida birinchi marta siyanobakteriyalar va suvo‘tlarning yangi turlari kashf etilgan.

Ushbu bobning birinchi bo‘limida Charophyta bo‘limiga kiruvchi dengiz, chuchuk suv, tuproq va havoning keng doiralarida yashaydigan Klebsormidium turkumining kosmopolit filamentli suvo‘tlariga mansub shtammining morfologik va molekulyar genetik tahlili ma’lumotlari keltirilgan (E.Samolov, va boshq., 2019).

Namunalardan ajratilgan *Klebsormidium* VKM Al-436 shtammi 11-50 hujayragacha bo‘lgan o‘rta uzunlikdagi filamentli suvo‘tlar bo‘lgan. Ma’lumki, *Klebsormidium* turkumi uchun 18S rRNK geni, shuningdek, ichki transkripsiyalangan ajratgichlar (ITS1 va ITS2) konservativ molekulyar belgilar bo‘lib, Mikhailyuk (2015) va boshqalarning tadqiqotlarida ko‘rsatilganidek, ba’zi sinflar (ayniqsa, B va C) va turlar (ayniqsa, E sinfida) o‘rtasida aniq ajratishga yo‘l qo‘ymaydi. Shuning uchun ushbu guruh vakillarining turlarini aniqlash uchun ko‘proq o‘zgaruvchan plastid gen rbcL ishlatilgan.

Hozirgi vaqtda turlarning xilma-xilligi eng to‘liq tavsiflangan F va G sinflari vakillari misolidan foydalanib (Mikhailyuk va boshq., 2015; Samolov va boshqalar, 2018) shuni aytish mumkinki, turkum ichidagi turlararo farqlar darajasi rbcL uchun 2 dan 16,6% gacha. Olti xil usul (ASAP, LocMin, KoT, GMYC, mlPTP va bPTP) yordamida amalga oshirilgan turlarni chegaralash yangi turning mustaqilligini tasdiqladi.

Shunday qilib, o‘rganilayotgan VKM Al-436 shtammining mustaqil filogenetik pozitsiyasi va unga mos keluvchi haqiqiy shtamm *K. subtile* SAG 384-1 bilan genetik tafovutlar darajasini hisobga olgan holda, bu shtamm ilm-fan uchun *Klebsormidium* turkumining yangi turi bo‘lib, uni *Klebsormidium mirabile* deb nomlashni taklif qilingan (5-rasm)



5-rasm. Klebsormidium sp. shtammining morfologiyasi. VKM Al-436: a, b - iplar va bitta hujayralarning umumiy ko‘rinishi; c - hujayra devorining H shaklidagi bo‘laklari; d - yadrosi va yadrosi aniq ko‘rinadigan hujayralar; e - ikki qatorli iplarni shakllantirish; f - suyuq kulturadagi flokulyant koloniyalar; g - agar plastinkasida kigizga o‘xshash koloniyalar; h - agar plastinkasida havo filamentlarining to‘plamlari, i - shilimshiqni aniqlash uchun siyoh bilan bo‘yalgan filamentlar. Masshtab chiziqlari: (a-e) 10 mkm, (h-i) 50 mkm.

***Golotip**: Klebsormidium mirabile* Yu.Tukhtaboeva, E.Krivina, V.Redkina, A.Temraleeva sp. now.

Haqiqiy shtamm: VKM Al-436 haqiqiy shtammi Rossiya Fanlar akademiyasining G.I.Skryabin nomidagi Mikroorganizmlar biokimyosi va fiziologiyasi institutining Butunrossiya mikroorganizmlar kolleksiyasida (VKM) va Pushchino biologik tadqiqot markazida saqlangan.

Tipik rasm: 5-rasm.

Tarqalish joyi: tuproq.

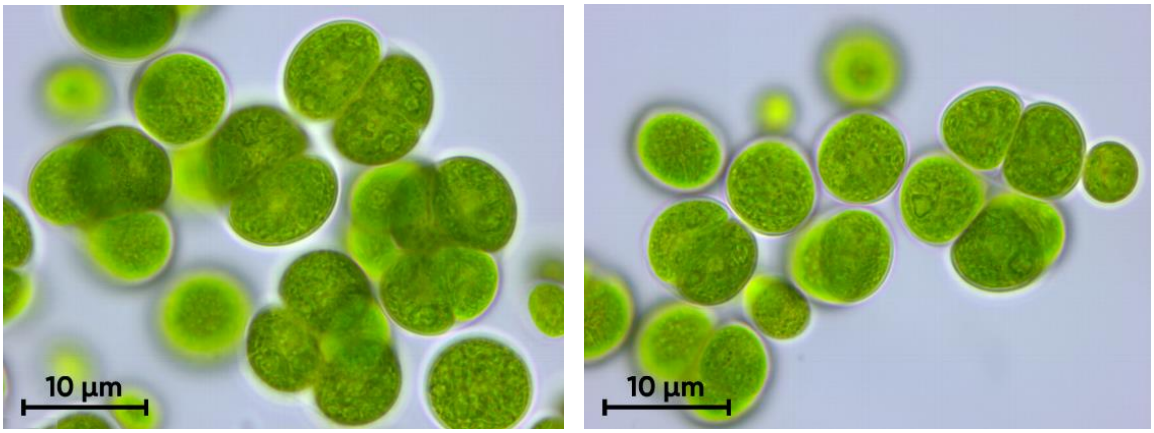
Tipik joylashuvi: O‘zbekiston, Farg‘ona vodiysi, Namangan viloyati, Pop tumani, Pop adirlari o‘rtacha eroziyalangan tuprog‘i, 40°52'37,14" N,70°59'44,76" E.

Beshinchi bobning ikkinchi, uchinchi, to‘rtinchi bo‘limlarida **“Yangi turga nomzod Spongiocarsinopsis, Nodosilinea, shuningdek Leptolyngbyaga o‘xshash turkum”** larning morfologik, molekulyar-genetik tavsifi keltirilgan.

ined. *Spongiosarcinopsis* sp. (6-rasm).

Shtamm Spongiosarcinopsis sp. VKM Al-495 yosh hujayralar sharsimon, diametri 7-10 mkm, yupqa silliq membrana bilan qoplangan.

Molekulyar va morfologik natijalar taxlili asosida Spongiosarcinopsis turkumining filogenetik dendrogrammasi tuzildi. Bunga ko‘ra, ITS2 daraxtida VKM Al-495 shtammi *Spongiosarcinopsis terrestris* ACSSI 23 turining haqiqiy shtammlaridan mustaqil pozitsiyani egallagan (Temraleeva va boshq., 2018; c.242) va yaqinda tasvirlangan *S.limneus* turlari (Lortou va boshq., 2022) va S.*qinghaiensis* (Yan va boshq., 2022), FACHB-3538, FACHB-3500, FACHB-3499 va KAERI-NJ23 shtammlari bilan yuqori statistik yordamga ega (97%) guruhni tashkil qiladi. Ushbu guruhdagi genetik farqlar 0 dan 2,4% gacha.



6-rasm. *Spongiosarcinopsis* sp. morfologik tuzilishi

Spongiosarcinopsis turkumi turlarining ITS2 ketma-ketligida ikkilamchi strukturasi bo‘yicha ham tahlili amalga oshirilgan. VKM Al-495 ITS2 ikkinchi novdasidagi qo‘shimchalar tufayli eng uzunidir. VKM Al-495 shtammining ikkilamchi struktura tahlili barcha uchta yuqorida keltirilgan haqiqiy shtamm bilan solishtirganda ITS2 ning saqlanib qolgan hududlarida CBC yo‘qligini ko‘rsatdi. Olingan morfologik, molekulyar-genetik tahlil natijalariga ko‘ra, aniqlangan takson *Spongiosarcinopsis* turkumining yangi tavsifi to‘liq yakunlanmagan turidir.

VKM Al-494 shtammining **“Yangi turga nomzod Leptolyngbya turkumi”** morfologiyasi odatda *Leptolyngbya* turkumiga mos kelgan (Komárek, Anagnostidis, 2005; c. 174). Biroq, *Leptolyngbya* turkumi polifiletik ekanligi aniqlangan (Komárek va boshq., 2014) va uning tarkibidan ko‘plab yangi avlodlar ajratilgan, masalan, *Haloleptolyngbya, Myxacorys, Nodosilinea, Oculatella, Phormidesmis, Plectolingbya, Stenomitos* va boshqalar.

16S rRNK tahliliga ko‘ra, VKM Al-494 shtammi Nodosilineaceae oilasiga tegishli bo‘lgan. Guruh uchun yuqori statistik yordamga ega bo‘lgan eng yaqin guruhlar kulturasiz (FJ516017) va tasniflanmagan (MH666135) sianobakteriyalarga tegishli 2 ta ketma-ketlik bo‘lgan. Guruh ichidagi genetik masofalar 4,1 dan 5,3% gacha bo‘lgan. Aniqlangan taksonlardan eng yaqinlari Haloleptolyngbya, Nodosilinea va Marileptolyngbya avlodlari bo‘lgan. VKM Al-494 shtammi va ularning turdagi turlarining haqiqiy shtammlari orasidagi genetik masofalar mos ravishda 5.9, 5.4 va 5.5% ni tashkil etgan. Bu genetik tafovutlarning avlodlararo darajasiga mos keladi. Shunday qilib, ajratilgan shtamm Nodosilineales tartibidagi Nodosilineaceae oilasining yangi turkumiga nomzod bo‘lgan.

“Nodosilinea turkumining yangi turiga nomzod”. Morfologik va molekulyar - genetik tahlilga asoslanib, VKM Al-498 shtammi *Nodosilinea* turkumiga tegishli bo‘lgan. Turkum ichidagi genetik masofalar 0 dan 4,43% gacha bo‘lgan.

Shu bilan birga, 16S rRNK gen ketma-ketligidagi farqlar *N.chupicuarensis*ning yangi turlarini tavsiflashda Nodosilinea turkumining sianobakteriyalari turlarini farqlash uchun yetarli emas deb hisoblanadi (Vázquez-Martínez va boshq., 2020), *N. coculeatus* va *N. terrestrialis* (Nuryadi va boshq., 2024). O‘zgaruvchan ichki transkripsiyalangan spacer 16S-23S ITS tahlili, shu jumladan saqlanib qolgan D1-D1' va boxB domenlarining ikkilamchi tuzilishi va uzunligi, turkumning turlarini ajratish uchun yaxshi vosita bo‘lib, yuqorida aytib o‘tilgan tadqiqotlarda muvaffaqiyatli

qo‘llanilgan. O‘rganilayotgan VKM Al-498 shtammi va *Nodosilinea* turkumining barcha tavsiflangan turlari o‘rtasidagi ajratgichning ikkilamchi tuzilishidagi farqlar uning mustaqil tur maqomini tahmin qilishni tasdiqlagan.

Dissertatsiyaning oltinchi bobi **“Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari algoflorasi taksonomik tahlili va uning qiyosiy tavsifi”** deb nomlangan. Unda eroziyalangan tuproqlardan aniqlangan mikrosuvo‘tlar va sianobakteriyalarning taksonomik tadqiqotlari natijalari, ularning tadqiqot hududining boshqa hududlari bilan qiyosiy floristik tahlili keltirilgan. Bobning **“Suvo‘tlar taksonlari spektrlarining tahlili”** deb nomlangan birinchi bo‘limida bo‘limlar, sinflar, tartiblar, oilalar va turkumlarning spektr tahlili keltirilgan.

Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarning algoflorasi 4 bo‘lim, 9 sinf, 20 tartib, 58 oila va 90 turkumga mansub 141 turni o‘z ichiga oldi (2-jadval). Tadqiqot hududidan aniqlangan taksonlarining asosiy qismi (72 takson, 51,1%) Chlorophyta bo‘limiga mansub. Bu bo‘linma vakillarining o‘rganilayotgan hududda keng tarqalishi bo‘linma tarkibiga kiradigan sinf, tartib va oila vakillarining soni bilan belgilanadi va ular eroziyaga uchragan tuproqlarda ma’lum qonuniyat bo‘yicha taqsimlanadi.

2-jadval

Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarning algoflorasi taksonomik tarkibi

Bo‘lim	Sinf	Tartib	Oila	Turkum	Tur
Cyanobacteria	1	12	20	30	53
Chlorophyta	3	3	26	46	72
Heterokontophyta	3	3	10	11	12
Charophyta	2	2	2	3	4
Jami:	**9**	**20**	**58**	**90**	**141**

Taksonomik holat bo‘yicha ikkinchi o‘rinda (53 takson, 37,6%) Cyanobacteria bo‘limi bo‘ldi. Yetakchi bo‘limlar spektrida keyingi o‘rinni diatomlar, eustigmatofitlar va sariq-yashil suvo‘tlarini o‘z ichiga olgan Heterokontophyta (12 takson, 8,5%) va Charophyta (4 takson, 2,8%) egalladi. Biroq, turli geografik joylarda, Chlorophyta bo‘limi har doim ham dominantlik qilmadi, (asosan Chortoq adirliklarida 46 tur) tadqiqot hududining Farg‘ona viloyati Sho‘rsuv va Namangan viloyati Chortoq hududlarida sianobakteriya bo‘limi yetakchi bo‘ldi (3-jadval).

Bu ikki hududning geografik jihatdan uzoq bo‘lishiga qaramay, sianobakteriyalar bo‘limi vakillari bu yerda deyarli bir xil nisbatda tarqalgan – mos ravishda 29 va 26 ta, asosan Chortoq adirining shimoliy yon bag‘irlarida, A va B gorizontlarida *Tolypothrix tenuis, Oscillatoria anguina, Nodosilinea* sp.) ko‘p miqdorda uchrashi aniqlangan. Bundan tashqari o‘rganilayotgan hududda filamentsimon vakillari (*Cylindrospermum licheniforme, Cylindrospermum muscicola, Leptolyngbya angustissima*) bilan bir qatorda sharsimon kokkoidlar (*Microcoleus vaginatus, Synechococcus elongatus*) ham keng tarqalgan.

3-jadval

Tadqiqot hududlardagi turlarning taksonomik tarkibi

Bo‘limlar	AA	ChA	NA	PA	RA	TA	Chim.A	ShA
Cyanobacteria	18	29	15	20	15	11	20	26
Chlorophyta	20	46	16	17	31	11	15	11
Charophyta	2	3	2	2	3	0	0	0
Heterokontophyta	2	6	2	2	4	1	3	4
Jami:	**42**	**84**	**35**	**41**	**53**	**23**	**38**	**41**

Eng kichik ko‘rsatkich Charophyta va Heterokontophyta bo‘linmalari vakillariga to‘g‘ri keldi. To‘raqo‘rg‘on, Chimyon va Sho‘rsuv adirlarida hatto Charophyta bo‘limi vakillari umuman qayd etilmagan. Bu holat ikkala tur vakillarining o‘sishi uchun yetarli sharoitlar ta’minlanmagan muhit deb hisoblanadi.

Sinflar spektri bo‘yicha yetakchi sinf Cyanophyceae (53 takson), undan keyin Chlorophyceae (39) va Trebouxiophyceae (31) sinfining yashil suvo‘tlari, shuningdek, Bacillariophyceae sinfining diatomlari (9) bo‘lgan.

Tartiblar spektri bo‘yicha algofloraning 20 ta tartibidan 6 tasi dominant tartib bo‘lib, 92 turni (65,2%) o‘z ichiga oladi.

Farg‘ona vodiysining eroziyalangan tuproqlarining sianobakteriyalari orasida Nostocales (19 tur), Oscillatoriales (12) va Leptolyngbyales (9) turkumlari, qolganlari esa Chroococcales (2), Chroococcidiopsidales (1), Desertifilales (1), Geitlerinematales (1), Gomontiellales (1), Nodosilineales (2), Oculatellales (1), Pseudanabaenales (1) va Synechococcales (3), kam ifodalangan. Chlorophyta bo‘linmasi ichida yetakchi tartiblar Sphaeropleales (21), Chlamydomonadales (18) va Prasiolales (13) bo‘ldi. Diatomlar orasida Naviculales (5) tartibi ustunlik qilgan. Sariq-yashil va eustigmatofit suvo‘tlari mos ravishda Tribonematales (2) va Eustigmatales (1), charofit suvo‘tlar Klebsormidiales (3) va Desmidiales (1) turkumlariga tegishli. Tartib darajasidagi suvo‘tlar taksonlarining spektrlari ham Namangan viloyatining eroziyaga uchragan tuproqlarida eng ko‘p va xilma-xil bo‘lgan, ayniqsa, Chortoq va Rezaksoy adirliklari tuproqlarida aniqlangan bo‘lib, ularning algoflorasi nafaqat yorug‘lik mikroskopiyasi va kulturalarini yetishtirish, balki DNK metabarkoding tahlili yordamida ham o‘rganilgan.

Ushbu bobning **“O‘zbekiston Respublikasi tuproqlari va o‘xshash yashash joylari algoflorasi bilan qiyosiy tahlillari”** deb nomlangan ikkinchi bo‘limida Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari algoflorasini turli yashash muhiti xususiyatlari bir xil bo‘lgan hududlar bilan qiyosiy tahlili keltirilgan.

Dastlab o‘rganilgan sakkizta tadqiqot hududi tuproqlari algoflorasining qiyosiy tahlili o‘tkazilgan. Eng yuqori o‘xshashlik Jakkar koeffitsienti bo‘yicha (0,53) Alamushuk va Pop adirlarining algofloralari juftligida, eng pasti (0,12) To‘raqo‘rg‘on va Shorsuv adirliklarida aniqlangan. Past o‘xshashlik koeffitsientlari, ehtimol, tuproqning geterogenlik va mikromozaik sharoitlar, shuning uchun mikroorganizmlarning taksonomik tarkibi kabi xususiyatlari bilan bog‘liq. Barcha 8 ta joyda topilgan yagona tur sianobakteriya *Limnoraphis cryptovaginata* bo‘lgan.

Turlar soni bo‘yicha Chortoq adirlari (84 tur) yetakchi bo‘lgan (3-jadval). Ikkinchi yetakchi o‘rinni 53 tur bilan Rezaksoy egallaydi. Keyingi o‘rinlarda bitta

turga farq bilan Alamushuk (42) va Shoʻrsuv (41) hududlariga mos kelgan. Eng past tarqalish indeksi Toʻraqoʻrgʻonda qayd etilgan (23). Oʻrganilgan maʼlumotlarga asoslangan holda, taqqoslangan hududlar orasida eng yuqori oʻxshashlik koʻrsatkichi Alamushuk va Nanay adirliklaring algoflorasi tarkibida (40 tur) kuzatilgan. Bulardan keyin Chortoq va Rezaksoy adirlari oʻrtasidagi floristik oʻxshashliklar boʻlgan (30). Yuqori darajadagi oʻxshashlikka Cyanophyta boʻlimining turlari, xususan, *Limnoraphis cryptovaginata, Microcoleus autumnalis, Microcoleus sp., Microcoleus vaginatus, Oscillatoria anguina, Phormidium lividum va boshqalar erishiladi sa, Pseudomuriella engadinensis, Chlamydomonas debaryana var. atactogama, Chlamydomonas gloeogama, Muriella terrestris, Tetraspora sp., Dictyococcus varians, Deuterostichococcus marinus* va boshqalar Charophyta boʻlimiga mansub *Closterium pusillum* va *Klebsormidium* sp., solishtirilayotgan hududning floristik oʻxshashligida kam foizga ega. Shunisi e'tiborga loyiqki, Heterokontophyta boʻlimi turlari orasida hududlar boʻyicha oʻxshashliklar topilmagan.

Fargʻona vodiysidagi eroziyaga uchragan tuproqlarning algoflorasining hududlar boʻyicha bioxilma-xilligi Shennon-Vayner (The Shannon-Weiner Species Diversity Index) va Simpson (Simpson's Diversity Index) xilma-xillik indeksi usullaridan foydalangan holda baholandi.

Olingan natijalarga koʻra, Shoʻrsuv hududi bioxilma-xillik boʻyicha yetakchilikni koʻrsatib, **Cyanobacteria** va **Heterokontophyta** boʻlimi boʻyicha eng yuqori koʻrsatkichga ega boʻlgan. Fargʻona vodiysining janubi-gʻarbiy qismida joylashgan bu hudud oʻziga xos tuproq tipi va geografik joylashuvi bilan ajralib turadi. Tuproq tipi: qumli, och kulrang.

Simpson indeksiga koʻra esa, eng past qiymat yuqori turlarning xilma-xilligiga toʻgʻri keladi. Ushbu koʻrsatkich boʻyicha Shorsuv hududi ham oʻzining yuqori bioxilma-xilligi bilan ajralib turadi, bu Cyanobakteria va Heterokontophyta boʻlimalariga mos kelgan. Rezaksoy hududida eng yuqori daraja Chlorophyta, Nanay hududida esa Charophyta uchun kuzatiladi. Simpson indeksi yordamida olingan natijalar ham Shennon-Vayner indekslarini tasdiqlagan, bu oʻtkazilgan tadqiqotlar va olingan natijalarning ishonchliligini koʻrsatgan.

Statsionar hududlarda siyanobakteriyalar va mikrosuvoʻtlarning tarqalishi bilan bir qatorda eroziya darajasi, turi va toifasi boʻyicha ham tahlil oʻtkazildi. Maxsudov (2018) maʼlumotlariga koʻra Fargʻona vodiysida eroziya darajasi oʻrtacha, kuchli va kuchsiz daraja; beshta toifa, hamda, shamol va suv eroziyasi kuzatiladi. Shu darajalar boʻyicha algoflora tahlil qilinganda, natijalar shuni ko'rsatganki, umumiy algofloraning asosiy qismi, ya'ni taksonlarning 53,2 foizi (75 tur) suv va shamol eroziyasiga duchor boʻlgan hududlar uchun aniqlangan. Algofloraning 17,02% (24 tur) suv eroziyasi II toifaga; 12,76% (18 tur) - suv eroziyasi II, II^{a}, III toifaga; 9,93% (14 tur) algoflora taksonlari faqat kuchli shamol eroziyasining V toifasiga, 7,09% (10 tur) faqat suv eroziyasining III toifasiga kiruvchi hududlarga xos boʻlgan. Faqat shamol eroziyasiga uchragan tuproqlarda keng tarqalgan turlar Fargʻona vodiysining janubiy va janubiy-gʻarbiy qismlarida uchraydi. Bu oʻrganilayotgan hududlarda eroziya darajasi ham yuqori boʻlib, doimiy shamol tuproqning sirt qatlamini uchirib turadi. Bu o'rganilgan hududlarda faqat ushbu hududlarga chidamli boʻlgan algoflora

turlarining saqlanib qolishi, bu turlar maxsus hujayra tuzilishi va hujayra qobig`idagi moslashuvi tufayli tuproq yuzasida omon qoladi, tuproq zarralarini birlashtiradi va eroziyani kamaytirishga yordam berishi bilan izohlanadi. Shuning uchun bu turlarni istiqbolli eroziyaga chidamli turlar deb atash mumkin.

Farg‘ona vodiysining eroziyaga uchragan tuproqlaridagi sianobakteriya va mikrosuvo‘t turlarining floristik ro‘yxati O‘zbekiston hududida tuproq algoflorasi bo‘yicha Musayev (1964), Tojiboyev (1973), Mamasoliyev (2019) va To‘xtaboyeva (2019) tomonidan avval olib borilgan algologik ishlar bilan solishtirilgan. AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2024) ma’lumotlari bo‘yicha tasdiqlangan ro‘yxatdagi taksonlar soni mos ravishda 178, 144, 138 va 145 tani tashkil etgan. Biroq solishtirilgan algofloralarning o‘xshashlik koeffitsientlari juda past bo‘lgan. Qiyosiy solishtirganda eng yaqin o‘xshashlik Farg‘ona vodiysining asosiy tuproq tiplari algoflorasi (To‘xtaboyeva, 2019) o‘xshashlik Jakkard koeffitsienti 0,19 bo‘lgan. Keyingi o‘rinlarda Andijon viloyati rekreatsion tuproqlarini algoflorasi 0,17 (Mamasoliev, 2019), Toshkent viloyatining o‘zlashtirilmagan tuproqlarining algflorasi, 0,16 (Tojiboev, 1973) bo‘lgan. Eng past o‘xshashlik koeffitsienti, ya’ni Toshkent viloyatining sug‘oriladigan tuproqlari bilan 0,09 qayd etilgan (Musayev, 1964).

Bu natijani bir necha sabablar bilan izohlanadi. Birinchidan, bizning tadqiqot ishimizda kulturali, molekulyar-genetik va metabarkodlash yondashuvlaridan foydalanish, boshqa tadqiqotlarda esa morfologik tahlil bilan klassik yondashuvdan foydalangan. Ikkinchidan, o‘rganilayotgan tuproqlarda namlik darajasidagi farqlar. Sug‘oriladigan tuproqlardan boshlab (Musayev, 1964), shahar tuprog‘i (Mamasoliyev, 2019) yoki hatto Toshkent viloyatining o‘zlashtirilmagan tuproqlarida (Tojiboyev, 1973) namlik darajasi biz o‘rganayotgan hududga nisbatan ancha yuqori. Uchinchidan, mikroorganizmlarning tuproqlarda tarqalishining haddan tashqari geterogenligi, bizning tadqiqot hududimiz esa eroziyalanganligi bilan alohida ahamiyatga ega bo‘lgan.

Dissertatsiya oltinchi bobining **“Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarining sianobakteriyalari va suvo‘tlarining morfofiziologik va ekologik xususiyatlari”** deb nomlangan uchinchi bo‘limida mikrosuvo‘tlar va sianobakteriyalarning morfoziologik va ekologik xususiyatlari mintaqalar bo‘yicha qiyosiy tahlili berilgan bo‘lib, tahlil davomida bir qancha qonuniyatlar aniqlangan. Farg‘ona vodiysining eroziyaga uchragan tuproqlarida suvo‘tlari tallomining morfologik tashkil etilishining asosiy turlari kokkoid (49%) va filamentsimon (38%) bo‘lgan. Bundan tashqari, birinchi tur asosan yashil, eustigmatofit va diatom suvo‘tlariga, ikkinchisi esa sianobakteriyalarga xos bo‘lgan. Eukariotik suvo‘tlarning 57% da pirenoid yo‘q bo‘lgan, bu uning uglerod kontsentratsiyasi mexanizmidagi funksiyasi bilan izohlanadi.

Ba’zi yashil mikrosuvo‘tlar hujayralarni stressli sharoitlardan himoya qilish va fotosintetik jarayonlarni optimallashtirish bilan bog‘liq bo‘lgan ikkilamchi karotenoidlarni yuqori hosil qilish qobiliyati biotexnologik tadqiqotlar uchun istiqbollarni beradi.

Dissertatsiyaning **“Eroziylangan tuproqlarning sianobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining biotexnologik potentsiali”** deb nomlangan yettinchi bobi va

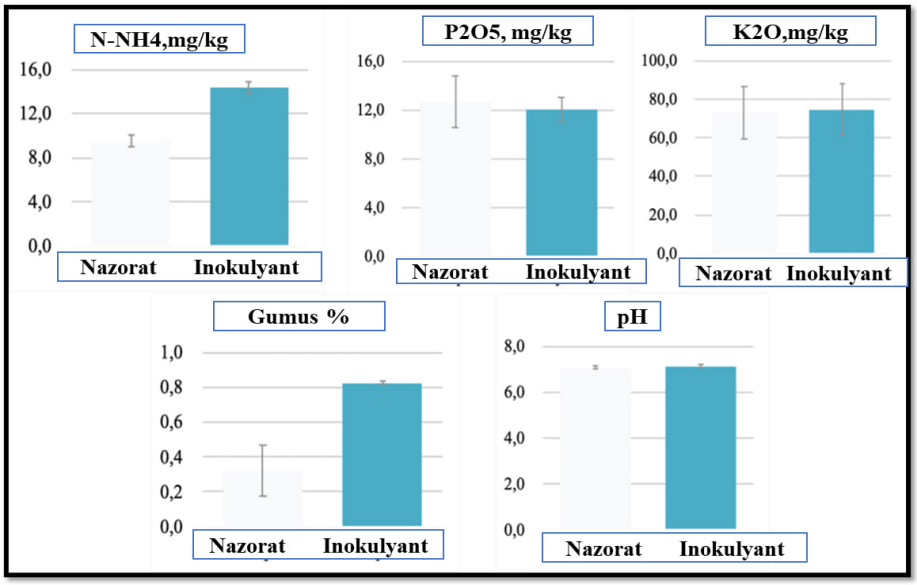
uning birinchi bo‘limi **VKM Al-498 Nodosilinea sp. sianobakteriyalarning butun genom tahlili va uning biotexnologik salohiyati** natijalariga bag‘ishlangan. Sianobakteriya Nodosilinea sp.ning o‘rganilgan kulturalarida yuqori o‘tkazuvchanlikdagi ketma-ketlik ma’lumotlarini (G.K. Skryabin nomidagi Mikroorganizmlar biokimyosi va fiziologiyasi instituti, Rossiya Fanlar akademiyasi, Pushchino, Rossiya.) tahlil qilish jarayonida VKM Al-498 maqsadli genomdan tashqari, Rhodobacteraceae, Pseudomonadota (genom yig‘ilishining to‘liqligi 99,71%) va Cellulomonadaceae, Actinomycetota (genom yig‘ilishining to‘liqligi 93,55%) oilalariga tegishli yana 2 bakterial genomni ham to‘plagan.

NCBI gen bankidan 20 ta eng yaqin bog‘liq genomga ega shtammning filogenomik tahlili (49 genning KBase tahlili) uning Nodosilinea turkumi - N.*nodulosa* PCC 7104 turi bilan bog‘liqligini ko‘rsatdi. Genomlar o‘rtasidagi o‘xshashlik 81,7% ni tashkil etdi, bizning genomimiz va *Leptolyngbya* sp. KIOST-1 - 82,5% va *N.nodulosa* PCC 7104 va *Leptolyngbya* sp. o‘rtasida. KIOST-1 - 80,9%. Barcha qiymatlar 85-95% turlarni pasaytirish chegarasidan past bo‘lgan, (Rodriguez va boshq., 2021; Viver va boshqalar, 2021; Conrad va boshq., 2022), bu barcha uch shtammni *Nodosilinea* turkumining har xil turlari sifatida tasniflash imkonini bergan.

Dissertatsiyaning ikkinchi bo‘limida **“*Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* va** Klebsormidium **turkumlari mikrosuvo‘tlarining yog‘ kislotalari tahlili”** natijalari keltirilgan. Yog‘ kislotalari tarkibini tahlil qilish uchun Chortoq, Pop, Alamushuk va Rezaksoy adriliklaridan aniqlangan Sphaeropleales (Chlorophyceae, Chlorophyta), Chlamydomonadales (Chlorophyceae, Chlorophyta), Klebsormidiales (Klebsormidiales, Charophyta) turkumlariga kiruvchi kokkoid, sarsinoid va filamentsimon tuzilishli turlarni beshta shtammi tanlab olingan. Morfologik va molekulyar genetik tahlil natijalariga ko‘ra, shtammlar Bracteacoccus sp. VKM Al-443, *Pseudomuriella schumacherensis* VKM Al-444, *Chlorosarcinopsis* sp. VKM Al-445, *Tetradesmus obliquus* VKM Al-493 va *Klebsormidium mirabile* VKM Al-436 dan iborat. *Bracteacoccus* sp., P. *schumacherensis* va T. *obliquus* shtammlarida yog‘ kislotalarining tarkibi quruq vaznning 9% ni, K. *mirabile* shtammida esa quruq vaznning 11% ni tashkil etdi. *Chlorosarcinopsis* sp. shtammi yog‘ kislotalarining maksimal miqdori bilan ajralib turadi ya’ni quruq vaznning 16,9% ni tashkil etganligi izohlangan. Shtamm *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443 palmitik va linoleik kislotalarning potensial ishlab chiqaruvchisi sifatida; P. *schumacherensis* VKM Al-444 shtammi – a-linolenik, palmitik va oleyin kislotalarni; VKM Al-445 shtammi *Chlorosarcinopsis* sp. - palmitik va oleyin kislotalar; VKM Al-493 shtammi *T.obliquus* a-linolenik kislota va VKM Al-436 shtammi *K. mirabile* a-linolenik, linoleik va palmitik kislotalarning potensial ishlab chiqaruvchisi sifatida o‘rganib chiqilgan. VKM Al-445 *Chlorosarcinopsis* sp. shtammi palmitik va oleyin kislotalarning maksimal miqdori bilan ajralib turadi. VKM Al-443 Bracteacoccus sp. (mos ravishda 26,1±01 va 24.4±1.3), linoleik kislota - (45,3±05) va VKM Al-436 *K.mirabile* a-linolenik kislota - (24,5±1.5). Ko‘rsatilgan shtammlarning biomassasi to‘yinmagan yog‘ kislotalar ishlab chiqarilishi tufayli oziq-ovqat mahsulotlari, biologik faol qo‘shimchalar, hayvonlar uchun ozuqa va farmatsevtika mahsulotlari, shuningdek moylash

materiallari, bo‘yoqlar va laklar, yuvish vositalari va kosmetika mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun xom ashyo sifatida ishlatilishi mumkin. Bu tadqiqot ishi Farg‘ona vodiysi qurg‘oqchil ekotizimlari tuproqlaridan ajratilgan *Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* va *Klebsormidium* avlodlarining yashil mikrosuvo‘tlari shtammlarining biotexnologik imkoniyatlari ilk bor o‘rganilgan.

Dissertatsiyaning **“Tuproq muhofazasi chora-tadirlarida mikrosuvo‘tlarga asoslangan inokulyatsiya texnologiyasini ishlab chiqish”** deb nomlangan sakkizinchi bobida eroziyalangan tuproqlarni muhofaza qilish chora-tadbirlarida filamentli mikrosuvo‘tlarga asoslangan texnologiya ishlab chiqilgan va ijobiy natija olingan. Bobning birinchi bo‘limi **“Ipsimon Charopyta bo‘limiga mansub mikrosuvo‘tlarni emlashni eroziyalangan tuproqning fizik-kimyoviy xususiyatlariga ta’siri”** deb nomalanadi. Bu bo‘limda Charophyta bo‘limiga mansub *Klebsormidium mirabile* ipsimon mikrosuvo‘tini emlash uchun qo‘llanilgan, bunga ko‘ra ijobiy natija olingan, ya’ni mikrosuvo‘tlar tuproqni fizik-kimyoviy xususiyatlariga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatgan (7-rasm). Tuproq tarkibidaga gumus, azot, fosfor, kaliy va pH miqodoriga ta’siri baholangan.



7-rasm. Mikrosuvo‘tlar biomassasi va mikrosuvo‘tlarsiz sug‘orilgan tuproqlarning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari

Bobning ikkinchi bo‘limida **“Tuproqning fotosintetik mikrobiologik biomassasini baholash”** mikrosuvo‘tlar bilan emlangan tuproqlarni tajriba natijalari keltirilgan. Tuproqni filamentli suvo‘tlari *Klebsormidium* sp. biomassasi bilan emlashdan keyin, eksperimental namunalarda tajribaning 30-kunida ko‘z bilan ko‘rinadigan tuproq yuzasining ko‘karishi kuzatilgan, bu tajribaning 60-kuniga kelib yanada ko‘paygan. Bu tajriba- tuproqning "gullashi" - fotosintetik mikrosuvo‘tlarning ommaviy rivojlanishi bilan bog‘liq bo‘lgan. Nazorat-kontrolda, ya’ni mikrosuvo‘tsiz tajribaning butun muddati davomida tuproqning "gullashi" kuzatilmagan.

Tuproq xlorofill a ning tajribada (sug‘orishda) kontsentratsiyasi nazoratdagidan 4 baravar oshgan va xlorofill birliklarida (XB) ifodalangan tuproq xlorofill miqdori nazorat bilan solishtirganda tajribada 4,7 baravar yuqor bo‘lgan).

XULOSALAR

“Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarning siyanobakteriyalari va mikrosuvo‘tlarining taksonomik xilma-xilligi va biotexnologik potensiali” mavzusidagi fan doktori (DSc) dissertatsiyasi yuzasidan amalga oshirilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlarida siyanobakteriyalar va mikrosuvo‘tlarning kulturali xilma-xilligi birinchi marta morfologik va molekulyar-genetik tahlillar asosida 4 bo‘lim, 9 sinf, 20 tartib, 58 oila va 90 turkumga mansub 141 turi aniqlandi.

2. Farg‘ona vodiysi eroziyaga uchragan tuproqlarning algoflorasi tarkibida Chlorophyta bo‘limi (72 tur), undan keyin esa Cyanophyta bo‘limi (53 tur) yetakchilik qiladi. Spektrdagi yetakchi tartiblar: siyanobakteriyalarda Nostocales (19 takson), Oscillatoriales (12 takson) va Leptolyngbyales (9), yashil suv o'tlari orasida - Sphaeropleales (21), Chlamydomonadales (18) va Prasiolales (13). Diatomlarda Naviculales (5) tartibi ustunlik qiladi. Sariq-yashil va eustigmatofit suvo‘tlarida esa Tribonematales (2) va Eustigmatoles (1), charofitlar esa Klebsormidiales (3) va Desmidiales (1) ga tegishli.

3. Suvo‘tlar kulturalarining molekulyar - genetik yondashuvi asosida Cyanobacteria, Chlorophyta va Charophyta bo‘limalariga tegishli fan uchun bitta yangi tur - *Klebsormidium mirabile* Yu.Tuktaboeva et.al. va 3 ta yangi nomzod tur – *Leptolyngbya* sp., *Nodosilinae* sp., *Spongiosarcinopsis* sp. taklif qilindi.

4. DNK metabarkodlash natijalari Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari mikrosuvo‘tlar va siyanobakteriyalarining statsionar hududlarda tarqalishi bo‘yicha dominant rolini aniqlashda va klassik usullar bilan solishtirganda, kulturali yondashuvga nisbatan ularning maksimal taksonomik xilma-xilligini qariyb 10 barobar oshirish imkonini berdi. Bunga ko‘ra, Farg‘ona vodiysi Shimoliy qismida Siyanobakteriya bo‘limi vakillari, Shimoliy sharqiy qismida esa Chlorophyta bo‘limi vakillari bioxilma - xillik indeksi bo‘yicha yuqori dominantlikka ega bo‘ldi. Mikrosuvo‘tlar va siyanobakteriyalar bo‘limlaridan tashqari, Acidobacteriota, Actinomycetota, Bacteroidota, Bacillota, Pseudomonadota bakteriya jamoalari bo‘limlarini aniqlashga imkon berdi.

5. 16S rRNK xloroplast genining V3-V4 mintaqasidan foydalanish, suvo‘tlar florasida yashil suvo‘tlarining *Edaphochlorella, Pseudomuriella, Watanabea* avlodlarini, diatomlardan *Bacillaria, Fistulifera, Entomphylemidium* va xarofitlardan *Klebsormidium* larni qo‘shimcha ravishda aniqlash imkonini berdi.

6. Sianobakteriyalar va suvo‘tlar tallomining morfologik tuzilishiga ko‘ra, asosiy turlari kokkoid (49%) va filamentli (38%)hisoblanadi. Kichik o‘lchamlari va kokkoid tuzilishlari tufayli mikrosuvo‘t hujayralari namlik tanqisligiga ko‘proq chidamli va filamentli tuzilish ularga eroziyaga qarshi faoliyatni amalga oshirib, tuproq zarralarini yopishtirish imkonini beradi.

7. Algoflorani Jakkard o‘xshashlik koeffitsientiga ko‘ra, eng yaqin o‘xshashlik Farg‘ona vodiysi asosiy tip tuproqlaridagi algoflorasi (To‘xtaboyeva, 2019) bilan – 0.19, eng past o‘xshashlik koeffitsienti esa, Toshent viloyati o‘zlashtirilgan tuproqlar algoflorasi 0,09 (Мусаев, 1964) bilan qayd etildi. Mazkur holat, o‘rganilayotgan

hududning geografik farqlanishi va tuproqlarning ekologik sharoiti bilan izohlanadi.

8. *Nodosilinea* sp. sianobakteriyasining to‘liq genom tahliliga ko‘ra, yog‘ kislotalari, vitaminlar, fitogormonlar, pigmentlar, saqlash polipeptidlari (sianofitsin), toksik birikmalarga qarshilik, antibiotiklar kabi potentsial foydali biotexnologik xususiyatlar majmuasini va spora hosil qilish qobiliyati aniqlandi. Shu asosda ushbu shtamm qishloq xo‘jaligida foydalanish uchun agrotexnik jihatdan foydali va istiqbolli hisoblanadi. Bu shtamm yuksak o‘simliklarning o‘sishini rag‘batlantirish, fosfat almashinuvida ishtirok etish qobiliyatiga ega va ozuqa moddalari va namlik yetishmovchiligi, og‘ir metallar va antibiotiklarga ta’sir qilish kabi salbiy ekologik omillarga chidamlilik xususiyati borligi aniqlandi.

9. Eroziyaga uchragan tuproqlardan ajratilgan *Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* va *Klebsormidium* turkumiga mansub mikrosuvo‘tlarning shtammlari ko‘p to‘yinmagan yog‘ kislotalarining samarali ishlab chiqaruvchilari hisoblanadi. Ushbu shtammlarning biomassasidan oziq-ovqat mahsulotlari, biologik faol qo‘shimchalar, hayvonlar uchun ozuqa va farmatsevtika mahsulotlari ishlab chiqarish uchun xom-ashyo sifatida foydalanish tavsiya etiladi.

10. Atrof-muhitning og‘ir sharoitlariga (harorat, qurg‘oqchilik, pH, namlik tanqisligi va boshqalar) va ba’zi ko‘payish xususiyatlarga (oson) keng bardoshlik kabi afzalliklarga ega bo‘lgan *Klebsormidium* filamentli Charophyta bo‘limi suvo‘tlarini inokulyatsiya texnologiyasi ishlab chiqildi. Eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, inokulyatsiya qilinmagan nazoratga nisbatan tuproqdagi humus miqdori 2,6 baravar, ammoniy azoti esa 1,5 baravar oshgan. Fitogormonlar, organik osmolitlar, mikosporin-ga o‘xshash birikmalar (UF) va boshqa turli xil biologik faollik yoki himoya xususiyatiga ega biokimyoviy birikmalarni ishlab chiqarish qobiliyati *Klebsormidium* turkumidagi mikrosuvo‘tlar uchun shubhasiz biotexnologik qiziqish uyg‘otadi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.B.39.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ БОТАНИКИ

НАМАНГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТУХТАБОЕВА ЮЛДУЗХОН АБДУСАТТАРОВНА

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

03.00.05 – Ботаника

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА НАУКА (DSc) ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора наук (DSc) по биологическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2024.4.DSc/B239.

Диссертация выполнена в Наманганском Государственном Университете.

Автореферат диссертации на трех языках (русский, узбекский и английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу www.botany.uz и в Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyonet.uz.

Научный консультант:	**Тожибаев Комил Шаробитдинович** доктор биологических наук, академик
Официальные оппоненты:	**Адилов Бехзод Абдуллаевич** доктор биологических наук
	Буриев Сулаймон доктор биологических наук, профессор
	Куликовский Максим Сергеевич доктор биологических наук
Ведущая организация:	**Ферганский Государственный университет**

Защита диссертации состоится 20 августа 2025 года в 14^{00} часов на заседании Научного совета DSc 02/30.12.2019.B.39.01 при Институте ботаники (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, дом 32. Актовый зал Института ботаники. Тел.: (+99871) 262-37-95, факс (+99871) 262-79-38, E-mail: botany@academy.uz

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ботаники (зарегистрировано за номером №74). Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, дом 32. Тел.: (+99871) 262-37-95.

Автореферат диссертации разослан 4 августа 2025 года.
(реестр протокола рассылки №13 от 4 августа 2025 года).

О.К. Хожиматов
Заместитель председателя Научного Совета по присуждению учёных степеней, д.б.н., профессор

А.В. Махмудов
Ученый секретарь Научного Совета по присуждению учёных степеней, PhD, старший научный сотрудник

Х.Ф. Шомуродов
Председатель Научного Семинара при Научном Совете по присуждению учёных степеней, д.б.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Почва, являющаяся важнейшей частью биосферы, в настоящее время подвергается значительной деградации. Среди различных видов деградации наиболее распространённой и вредоносной является эрозия почвы (Кузнецов и др., 1994). Проблема защиты почв от эрозии является актуальной задачей для многих стран, расположенных в аридных климатических регионах, включая территорию Узбекистана. Изучение почв на территории республики и их защита от эрозии становится всё более сложной задачей. В условиях Узбекистана большую роль в развитии эрозионных процессов и накоплении источников эрозии играет рельеф склонов. На южных склонах таяние снега происходит интенсивнее. Поэтому при прочих равных условиях почвы на южных склонах гор подвергаются водной эрозии в большей степени, чем почвы на северных склонах. Природные условия Узбекистана, разнообразие почв и их подверженность эрозии, влияние эрозии на плодородие почв, меры борьбы с эрозией, повышение плодородия эродированных почв и их рациональное использование являются одними из самых актуальных задач на сегодняшний день.

Плодородие почв является основой устойчивого сельскохозяйственного производства и гарантией продовольственной безопасности. В связи с отрицательным балансом органического вещества в земледелии проблема восстановления плодородия почв становится все более актуальной (Куприченков, Менькина, 2012). Одним из наиболее распространенных факторов, приводящим к снижению почвенного плодородия и деградации сельскохозяйственных земель, является эрозия. Среди экосистем мира аридные регионы вызывают большой интерес у почвенных альгологов, т.к. в условиях разреженного растительного покрова водоросли являются ключевыми фототрофами (Isichei, 1990).

Республика Узбекистан наделена богатыми природными ресурсами, включая плодородные почвы для сельского хозяйства, лесные, водные, минеральные ресурсы, а также разнообразную флору и фауну. По индексу аридности UNEP (от 0.05–0.20 до 0.65) территория (за исключением предгорной и горной части) относится к засушливой зоне, находящейся под воздействием воздушной и почвенной засух и, соответственно, восприимчива к процессам деградации и опустынивания (Международный фонд спасения Арала, 2022).

По данным Национального доклада о состоянии окружающей среды Республики Узбекистан за 2023 год значительная часть орошаемых земель подверглась деградации в различной степени: 2 млн. га дефляции, 619 га ирригационной эрозии и 40 тыс. га овражной эрозии (Национальный доклад, 2023). Соответственно, одним из актуальных вопросов является биодиагностика эрозии, разработка и внедрение в практику противоэрозионных мероприятий. Кроме того, важно оценить таксономическое разнообразие биоты в эродированных почвах, как

драйверов круговоротов вещества и энергии.

Закон Республики Узбекистан № 409 от 21 сентября 2016 года «Об охране и использовании растительного мира», Постановление Государственного комитета Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды № 6 от 26 июня 2018 года, Закон Президента Республики Узбекистан № 47 от 47 февраля 2016 года «Об охране природы Республики Узбекистан» и другие нормативно-правовые акты Республики Узбекистан № 409 от 21 сентября 2016 года также определяют задачи, соответствующие «Национальной программе действий по борьбе с опустыниванием и достижению устойчивости деградации земель» (НАДПО). Данное диссертационное исследование в определенной мере послужит реализации задач, обозначенных в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан, Указе Президента Республики Узбекистан «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы» и иных нормативных документов, результаты данного диссертационного исследования в определенной мере служат реализации поставленных задач.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная работа соответствует приоритетному направлению V. «Сельское хозяйство, биотехнологии, экология и охрана окружающей среды» развития науки и технологий Республики.

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации[1]. Традиционные и современные исследования почвенных цианобактерий и микроводорослей проводились в ведущих научно-исследовательских центрах и высших учебных заведениях, таких как Институт растительных наук Альбрехта фон Галлера (Германия), Университет Техас в Остин (США), Исследовательский биологический центр (Чехия), Аньхойский университет (Китай), Сельскохозяйственная академия (Россия), Институт ботаники (Австрия), Университет Дели (Индия), Падуанский университет (Италия), Киевский национальный университет им. Т. Шевченко (Украина), Университет Мельбурн (Австралия), Федеральный университет Минас-Жерайс (Бразилия), Университет Тоямы (Япония) и институт Ботаника (Узбекистан).

В мире получены следующие практические результаты по определению биотехнологического потенциала микроводорослей и цианобактерий и их перспективного использования в перспективных целях: показано, что штаммы микроводорослей, такие как *Bracteococcus, Muriella, Klebsormidium, Tetradesmus*, содержат максимальное количество полиненасыщенных жирных кислот омега-6, омега-3 и являются потенциальными продуцентами важных линолевой, гексадионовой и других кислот, а также показано, что эти штаммы могут быть использованы в качестве компонентов кормов и

[1] Обзор научных исследований по теме диссертации осуществлен на основе следующих источников: www.works.doklad.ru, www.dissercat.com, www.istina.msu.ru, researchgate.net, www.fundamental-research.ru, www.webofscience.com и др.

кормовых добавок в фармацевтике, медицине и сельском хозяйстве (Институт физиологии растений, Россия; Университет Альмерии, Испания). Использование микроводорослей или цианобактерий в качестве биоудобрений в сельском хозяйстве, снижении выбросов парниковых газов и поддержании плодородия почв считается перспективным и полезным подходом к улучшению современной азотной экономики (Университет New Castle, Австралия).

В настоящее время в мире проводится ряд приоритетных исследований, направленных на обоснование важной роли микроводорослей и цианобактерий в улучшении структурного состояния деградированных почв, повышении их плодородия и восстановлении, в том числе: выделение переспективных штаммов водорослей, имеющих высокую экологическую ценность, разработка технологий инокуляции на основе микроводорослей и цианобактерий в агроландшафтах и природных комплексах, создание эффективных методов их использования в фармацевтической, сельскохозяйственной и пищевой промышленности путем культивирования штаммов водорослей с высоким биотехнологическим потенциалом.

Степень изученности проблемы. Степень изученности разнообразия почвенных цианобактерий и микроводорослей и их биотехнологического потенциала в аридных регионах остается крайне низкой и фрагментарной. Это обусловлено практически отсутствием научных программ и исследовательских грантов по почвенным водорослям, что в свою очередь связано со слабым научным потенциалом национальных научных альгологических школ. Незначительное количество работ, выполненные за последние годы (Аксенова, 2010; Благодатнова, 2010; Якупова, 2012; Бачура, Зыкова, 2013; Горностаева, 2015; Новичкова-Иванова, 2017) не полностью отражают истинное разнообразие цианобактерий и микроводорослей засушливых районов в целом и эродированных почв в частности. Кроме того, провести оценку реального таксономического разнообразия почвенных цианобактерий и микроводорослей крайне затруднительно с использованием исключительно морфологической идентификации.

Основная часть альгологических исследований в Узбекистане была посвящена изучению водорослей рисовых, хлопковых полей и других орошаемых земель (Киселева, 1931; Мусаев 1954, 1960; Умарова, 1965; Мусаев, Тошмухаммедова, 1971) и датируются началом и срединойпрошлого столетия. Единичные работы охватили серо-буры почвы пустыни Кызылкум (Троицкая, 1961) и неорошаемы почвы Ташкентской области (Тожибоев, 1973). Лишь в последние годы были опубликованы результаты научных исследований по основным типам почв Ферганской долины (Тухтабоева, 2019), особенностям их высотного распространения (Хусанова, 2019), а также городским почвам (Мамасолиев, 2019). Тем не менее, в научной литературе отсутствуют сведения об альгофлоре эродированных почв аридных районов, в том числе почв Ферганской долины. Исследования, основанные на молекулярно-генетической идентификации штаммов

водорослей и природных цианобактериально-водорослевых ассоциаций, а также оценка их биотехнологического потенциала в Средней Азии являются новым направлением научных работ в этой сфере.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Научно-исследовательская работа проводилась в лаборатории альгологии по плану «Флора и фауна Ферганской долины: природные ресурсы, рациональное использование и электронная база данных» кафедры биологии Наманганского государственного университета.

Цель исследования: Выявление и анализ таксономического разнообразия цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины и оценка биотехнологического потенциала некоторых перспективных штаммов.

Задачи исследовании:

- сбор почвенно-альгологических проб эродированных почв, культивирование, выделение и получение смешанных и альгологически чистых культур;
- идентификация штаммов цианобактерий и микроводорослей на основе морфологического и молекулярно-генетического анализа;
- проведение комплексного таксономического анализа альгофлоры эродированных почв Ферганской долины;
- использование ДНК-метабаркодинга для изучения альгоценозов пятен «цветения» на эродированных почвах Ферганской долины;
- определение биотехнологического потенциала некоторых перспективных штаммов цианобактерий и микроводорослей;
- изучение влияния водорослей на почвенные характеристики с применением методов технологии инокуляции микроводорослей для разработки почвозащитных мероприятий.

Объект исследования являются цианобактерии и микроводоросли эродированных почв Ферганской долины.

Предмет исследования являются Биоразнообразие и биотехнологический потенциал цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины, а также разработка почвозащитных и почвообразовательных мероприятий.

Методы исследования. В диссертации использованы таксономические, микробиологические, физико-химические, молекулярно-генетические, биоинформатические и биохимические методы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

На основе метагеномного, морфологического и молекулярно-генетического подходов выявлен таксономический состав цианобактерий и микроводорослей в эродированных почвах Ферганской долины, включающий 141 вид водорослей из 4 отделов, 9 классов, 20 порядков, 58 семейств и 90 родов.

Результаты ДНК-метабаркодинга позволили определить максимальное таксономическое разнообразие микроводорослей и цианобактерий в эродированных почвах Ферганской долины по сравнению с классическими методами.

На основе комплексного анализа альгоценозов эродированных почв Ферганской долины описан один новый для науки вид, подготовлены к описанию три новых вида и оценен биотехнологический потенциал некоторых из них.

Проведены жирнокислотные анализы ряда микроводорослей, по результатам которых показано, что штаммы, принадлежащие к родам *Bracteacoccus*, *Pseudomuriella*, *Chlorosarcinopsis*, *Tetradesmus* (Chlorophyta) и *Klebsormidium* (Charophyta), являются эффективными продуцентами ненасыщенных жирных кислот в больших количествах.

С помощью методов высокопроизводительного секвенирования функционально аннотирован геном цианобактерии рода *Nodosilinea*.

Разработана технология инокуляции микроводорослей рода *Klebsormidium,* в результате которой было показано улучшение плодородия эродированных почв Ферганской долины, с целью проведения почвозащитных мероприятий.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Полная инвентаризация альгофлоры эродированных почв Ферганской долины внесёт значительный вклад в изучение разнообразия цианобактерий и микроводорослей в почвах аридных экосистем Центральной Азии.

Полученные данные в ходе исследования рекомендуются для использования при составлении различных национальных флористических отчётов и региональных кадастров для организаций, занимающихся экологии и охраной окружающей среды.

Информация о таксономическом разнообразии и географическом распространении всех видов цианобактерий и микроводорослей внесена в международную базу данных GBIF (Глобальная информационная система о биоразнообразии, http://www.gbif.org). В результате обеспечен открытый доступ к биогеографическим данным альгофлоры эродированных почв.

Все нуклеотидные последовательности, полученные на основе молекулярно-генетических анализов, размещены в международной генетической базу данных GenBank, NCBI. Это предоставляет возможность проводить сравнительный анализ альгофлоры эродированных почв с альгофлорой других почв и водоёмов.

Некоторые штаммы кандидатов в новые виды цианобактерий и микроводорослей обладают высоким биотехнологическим потенциалом и предоставляют возможности для эффективного использования в пищевой и фармацевтической промышленности, а также в мероприятиях по восстановлению почв.

Достоверность результатов исследования. Основные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационном исследовании,

являются достоверными, а полученные результаты соответствуют объекту исследования и отражают современное состояние таксономического разнообразия цианобактерий и микроводорослей в аридных районах Ферганской долины.

Культуральные и метагеномные подходы, используемые для изучения разнообразия цианобактерий и микроводорослей, считаются как традиционными, так и современными в алгоритических исследованиях. Комплексное применение этих методов позволило сформировать современный таксономический состав альгофлоры.

Поставленные задачи полностью раскрыты применёнными материалами и методами, а полученные результаты непосредственно обсуждены. Кроме того, исследования проводились в сотрудничестве с ведущими научными учреждениями в данной области — Центром биологических исследований РАН в Пущино и Институтом физиологии растений имени Темирязева. В области алгологии получены важные результаты, касающиеся таксономического и биотехнологического потенциала микроводорослей. Все полученные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Впервые с использованием культурального и метагеномного подходов в сочетании с классическими методами альгофлоры изучено таксономическое разнообразие цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины. Полученные результаты имеют большое научное значение для восполнения имеющихся научных и практических пробелов в изучении локального биоразнообразия Ферганской долины, где в настоящее время преобладают современные сведения по таксономии и биогеографии высших сосудистых растений и позвоночных животных.

Найдены и описаны новые для науки виды цианобактерий и микроводорослей и проведена оценка биотехнологического потенциала некоторых из них. Разработанная технология инокуляции микроводорослей рода *Klebsormidium* позволила повысить плодородие почв и рекомендована в качестве перспективной в почвозащитных и почвовосстановительных мероприятиях. Практическая значимость работы заключается в том, что новые данные о таксономическом разнообразии и географическом распространении почвенных цианобактерий и микроводорослей Ферганской долины послужить основой для биомониторинга и биоиндикации экологического состояния почв.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научно-практических результатов по изучению таксономического разнообразия и биотехнологического потенциала цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины:

Данные о разнообразии и биотехнологическом потенциале цианобактерий и микроводорослей в эродированных почвах Ферганской долины (https://doi.org/10.15468/wg684r) внесены в Глобальную информационную систему о биоразнообразии (GBIF) (25.09.2024, №015). В

результате была частично расширена информация в глобальной информационной базе данных о географическом распределении альгофлоры почв в аридной зоне Ферганской долины.

Все полученные последовательности были депонированы в GenBank NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/) под номерами OR838744 (*rbc*L); PQ504911, PQ504912, PQ488471, PQ488472 (16S рРНК); OR852641-OR852650, PQ490563-PQ490566 (ITS2); Использование комплексного подхода позволил получить новые данные потаксономии почвенной альгофлоры Ферганской долины. Эти данные существенно дополняли не только локальное видовое разнообразие, но и расширяли современные представления на региональном (Центральноазиатском) уровне, позволив выявить новые, неизвестные науке виды цианобактерий и микроводорослей.

Единая база данных флоры микроводорослей эродированных почв Ферганской долины введена в деятельность Академии наук Республики Узбекистан (Справка №4/1255–2767 Академия наук Республики Узбекистан, 13.12.2024,). В результате был создан первый в Республике Узбекистан цифровой ресурс по биоразнообразию данной таксономической группы, который позволил провести полную инвентаризацию почвенной альгофлоры страны и организовать мониторинг эродированных почв Ферганской долины.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 5 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 29 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 13 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций; 2 статьи в периодических изданиях; 12 тезисов, из которых 5 на зарубежных и 7 на республиканских конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 156 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и необходимость исследования, описаны цели и задачи, объект и предметы исследования, показано его соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыто научное и практическое значение полученных результатов, приведены данные о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Таксономическое разнообразие и функции цианобактерий и микроводорослей**

эродированных почв аридных экосистем» приведена аналитическая информация о таксономическом составе почвенной альгофлоры Центральной Азии, основанные на литературных данных.

Изучение таксономического разнообразия является ключом к решению многих теоретических и практических проблем. Использование современных молекулярно-генетических методов значительно расширило возможности идентификации организмов, в том числе микроводорослей и цианобактерий. Произошел быстрый рост информации о новых, неизвестных науке видах (Maltsev, 2023). Используя современные достижения этой отрасли науки впервые в Средней Азии в условиях эродированных почв Ферганской долины нами проведено изучение таксономического разнообразия микроводорослей и цианобактерий на основе интегрированного подхода, сочетающего классические флористические методы с современными молекулярно-генетическими, геномными и биохимическими методами исследований. Использование комплексного подхода позволило получить новые данные по таксономии почвенной альгофлоры Ферганской долины, что существенно дополнило не только локальное видовое разнообразие, но и расширило современные представления на региональном (среднеазиатском) уровне. Другим, не менее важным результатом использованного интегрированного подхода стало обнаружение и описание новых для науки видов альгофлоры, что является существенным результатом проведенных исследований.

Во втором разделе первой главы под названием **«Защитные механизмы и биотехнологический потенциал»** на основе литературных данных и собственных исследований на эродированных почвах Ферганской долины представлены сведения о наличии у цианобактерий и микроводорослей аридных экосистем различных защитных механизмов от высоких температур и засухи, дефицита влаги и питательных веществ, а также об использовании технологий на основе цианобактерий-микроводорослей в противоэрозионных мероприятиях. Приведена информация о высоком биотехнологическом потенциале микроводорослей которые впервые обнаруженные в эродированных почвах Ферганской долины, относящиеся к родам *Bracteacoccus*, *Pseudomuriella*, *Chlorosarcinopsis*, *Tetradesmus* (Chlorophyta) и новый вид для науки - *Klebsormidium* (Charophyta) являются эффективными продуцентами ненасыщенных жирных кислот в больших и возможностях их использования в фармацевтической, пищевой и сельскохозяйственной промышленности.

Во второй главе диссертации под названием **«Физико-географическая характеристика исследуемой территории»** приводятся сведения о географическом положении, рельефе, климате, растительном покрове и типах почв Ферганской долины.

Уникальное географическое положение, рельеф и разнообразие климатических условий обусловили разнообразный почвенный покров Ферганской долины. Эти почвы подверглись в разной степени деградации из-

за выского антропогенного воздействия. Одним из ярко выраженных форм деградации природных ландшафтов является эрозия почвы. Подробная информация о типе и уровне почвенной эрозии в Узбекистане представлена по информацию Х.Максудов (2018).

В третьей главе диссертации под названием **«Объект и методы исследования»** описаны методы отбора образцов, выделения, культивирования и очистки штаммов цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины, микроскопии и морфологического анализа, молекулярно-генетического и биохимического анализа штаммов, ДНК-метабаркодирования, полногеномного секвенирования, физико-химических анализов почви лабораторного эксперимента по инокуляции. В главе также представлена информация об объектах и территории исследования.

Всего в период исследований с 2018 по 2024 гг. было отобрано 238 почвенно-альгологических проб на восьми эродированных территориях Ферганской долины. В Андижанской области были исследованы горные регионы Джалакудукского района, в Наманганской области – Чустского, Папского, Чартакского, Туракурганского и Янгикурганского районов и в Ферганской области –Чимянский и Яйпанский районы (рис.1).

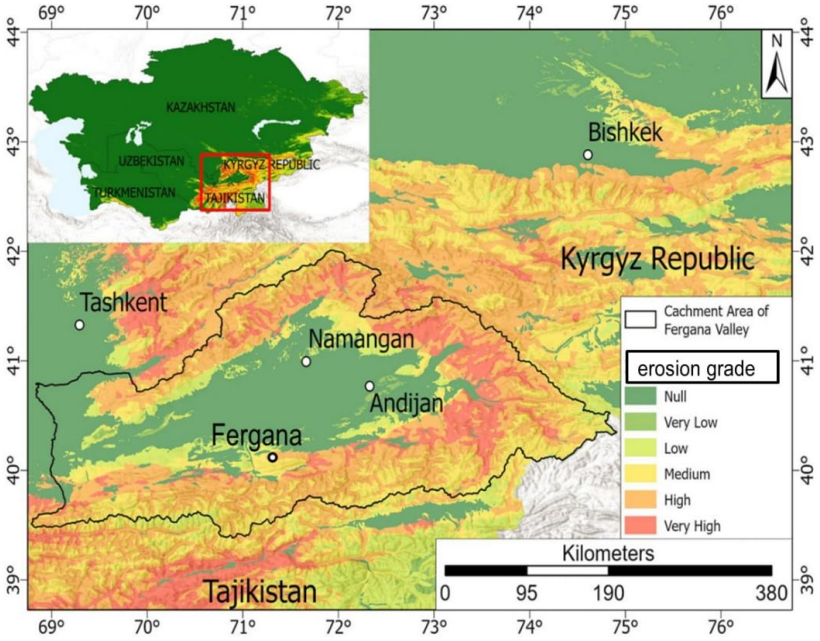


Рисунок 1. Карта района исследований

В четвертой главе диссертации под названием **«Разнообразие цианобактерий и микроводорослей эродированных почв на основе идентификации культур и ДНК-метабаркодинга пятен «цветения»** приведены данные по идентификации цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины. В первом разделе главы представлены результаты физико-химических анализов эродированных почв, в результате которых определены физические параметры почв восьми исследуемых участков: гранулометрический состав, pH, содержание гумуса,

подвижного фосфора, обменного калия и аммония. Районами с самыми низкими показателями стали участки Чимян, Шорсув и Поп. Результаты ДНК-метабаркодинга позволили выявить доминирующую роль микроводорослей и цианобактерий в эродированных почвах Ферганской долины и определить их максимальное таксономическое разнообразие по сравнению с классическими методами.

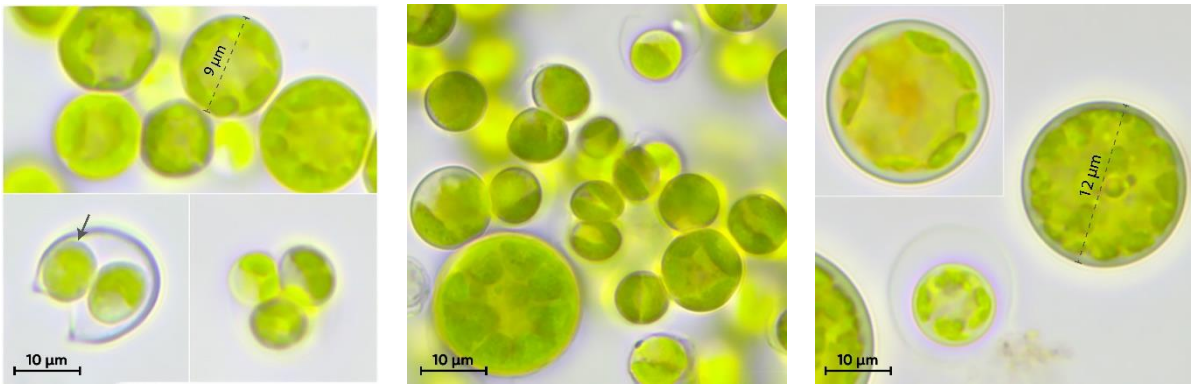
Во втором разделе главы, под названием **«Морфологическая идентификация цианобактерий и микроводорослей»** представлена подробная информация о морфологических характеристиках и местах распространения видов, выявленных в эродированных почвах Ферганской долины. Всего из почвенных образцов было изолировано более 20 чистых штаммов, из которых наибольшее количество было выделено из эродированных почв Наманганской области (Чуст-Папские и Чартакские адыры).

Цианобактерии были представлены безгетероцитными нитчатыми родами *Microcoleus, Phormidium, Nodosilinea* и *Lyngbya*-подобным родом. Данные морфологического анализов описанных таксонов приводится ниже, описание кандидатов в новые таксоны приводится в главе V.

Штамм *Phormidium irriguum* VKM Al-492 (рис. 2) характеризуется следующими морфологическим признаками.



Рисунок 2. Морфология штамма *P. irriguum* VKM Al-492. Шкала 10 мкм



а б в

Рисунок 3. Морфология штамма *Chromochloris zofingiensis* VKM Al-437 (а), на вклейке представлены автоспоры; *Pseudomuriella schumacherensis* VKM Al-444 (б); *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443 (в). Шкала 10 мкм.

Эукариотические микроводоросли были представлены коккоидными родами *Chromochloris, Bracteacoccus, Pseudomuriella, Deuterostichococcus, Pseudostichococcus, Tetratostichococcus, Interfilum, Chlorella,* сарциноидными *Chlorosarcinopsis* и *Spongiosarcinopsis*, колониальным *Tetradesmus* и нитчатым *Klebsormidium*. Данные морфологического и молекулярно-генетического анализов описанных видов приводим ниже, описание кандидатов в новые таксоны приводится в главе VI.

Штамм *Chromochloris zofingiensis* VKM Al-437 (Резаксай). Клетки одиночные, зрелые - шаровидные, молодые и автоспоры - шаровидные, яйцевидные или полигональные (рис. 3,а).

Полное морфологическое и молекулярно-генетическое исследование выявило все виды альгофлоры, включая *Pseudomuriella schumacherensis* VKM Al-444 (рис. 3.б), *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443 (рис. 3.в).

Цианобактерии и водоросли из пятен «цветения». В почвенно-альгологических пробах, отобранных на склонах Чартакских адыров, было отмечено 26 различных морфотипов цианобактерий и водорослей**.**

В первом образце ЧХ-1 было обнаружено 16 таксонов: нитчатые цианобактерии родов *Leptolyngbya, Microcoleus, Nostoc, Tolypothrix, Trichocoleus* и *Tychonema*; харофитовые водоросли *Klebsormidium* spp. и *Interfilum* sp.; зеленые водоросли родов *Deuterostichococcus, Diplosphaera, Elliptochloris, Leptosira, Pseudococcomyxa, Watanabea* и неидентифицированная ульвофициевая водоросль; диатомовая водоросль рода *Hantzschia* и 15 таксонов — во втором ЧХ-2: нитчатые цианобактерии *Microcoleus* sp. и *Trichocoleus* sp.; харофитовые водоросли *Klebsormidium* sp. и *Interfilum* sp.; зеленые водоросли родов *Bracteacoccus*, *Chlorella, Chlorosarcinopsis*, *Edaphochloris*, *Leptosira*, *Planophila*, *Pseudomuriella*, *Stichococcus*, *Tetracystis, Tritostichococcus*; неидентифицированная мелкая диатомовая водоросль.

В пробах, отобранных на склонах Резаксайских адыров было определено меньше различных морфотипов цианобактерий и водорослей – 17, 7 из них в первом образце РА-1: зеленые водоросли родов *Bracteacoccus, Chlamydomonas, Chlorosarcinopsis, Desmochloris, Edaphochloris*; неидентифицированная мелкая диатомовая водоросль и цианобактерия *Trichocoleus*, и 14 во втором РА-2: нитчатые цианобактерии родов *Microcoleus* и *Trichocoleus*; харофитовая водоросль *Klebsormidium*; зеленые водоросли родов *Bracteacoccus*, *Chlorella*, *Chlorosarcinopsis, Edaphochloris, Graesiella, Pseudomuriella, Spongiochloris, Stichococcus*; желто-зеленые водоросли *Botrydiopsis* и *Heterococcus*; неидентифицированная диатомовая водоросль.

Третий раздел четвертой главы посвящена **«Молекулярно-генетической идентификации штаммов цианобактерий и микроводорослей на основе анализа генов 16S рРНК, *rbc*L и спейсера ITS2»** и в нем изложены результаты изучения генетического разнообразия культур цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской

долины, а также дается научное обоснование для кандидатов в новые таксоны. Штамм *Phormidium irriguum* VKM Al-492 по данным молекулярно-филогенетического анализа вошел в состав клады, объединяющей штаммы, идентифицированные как представители родов *Oscillatoria, Lyngbya* и *Phormidium,* включая *P. irriguum* . Статистическая поддержка группы — 83%.

ITS2-анализ. *Stichococcus*-клады, построенное методом Байеса, на основе последовательностей внутреннего транскрибируемого спейсера ITS2 (375 н.).

Штамм VKM Al-446 группировался со штаммами *Tetratostichococcus jenerensis*. Уровень генетических различий ITS2 с аутентичным штаммом SAG 2138 составил 3.5%, со штаммом KS126SM6L – 2.1%. При этом была обнаружена 1 СВС в вариабельном регионе шпильки I (10 п.н.), отличающая штамм KS126SM6L от других представителей кластера. Так как род *Tetratostichococcus* монотипный и включает всего три опубликованные последовательности ITS2, данная группа нуждается в дополнительном изучении. Штамм VKM Al-446 был идентифицирован как *Tetratostichococcus* sp.(рис.5)

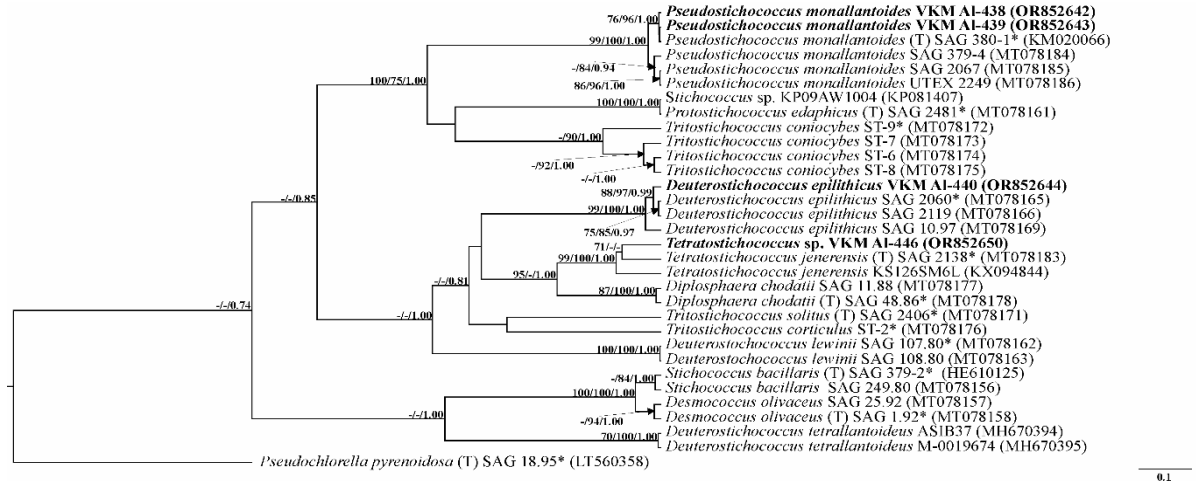


Рисунок 4. Укорененное филогенетическое дерево зеленых микроводорослей

В четвертом разделе четвертой главы диссертации под названием «**ДНК-метабаркодинг регионов V3-V4 гена 16S рРНК и ITS2 пятен «цветения» эродированных почв с акцентом на цианобактерии и микроводоросли»** впервые представлено разнообразие цианобактерий и водорослей эродированных почв Ферганской долины на основе высокопроизводительного секвенирования региона V3-V4 гена 16S рРНК и спейсера ITS2. Использование региона V3-V4 хлоропластного гена 16S рРНК при микробиологическом профилировании сообществ водорослей позволило дополнительно идентифицировать в альгофлоре роды зеленых водорослей *Edaphochlorella, Pseudomuriella* и *Watanabea*, а также роды диатомовых водорослей *Bacillaria, Fistulifera, Entomoneis* и *Klebsormidium* из отдела Charophyta. Наряду с цианобактериями и микроводорослями были выделены участки почвенных бактериальных сообществ, отобранные из пятен «цветения» адыров Чартак и Резаксай исследуемой территории.

Бактериальное сообщество почв Чартакских адыров состояло преимущественно из представителей 7 филумов в образце ЧА-1; 5 филумов в образце ЧА-2; 2 филумов в образце РА-1; 5 филумов в образце РА-2. Во всех образцах отмечено доминирование Pseudomonadota.

По данным ITS2-профилирования во всех образцах, кроме ЧА-1, преобладали представители царства Viridiplantae, большую часть которых составляли зеленые водоросли филума Chlorophyta. При этим мхи (Bryophyta) отсутствовали в образце РА-1, в образце РА-2 составляли 7.9%, в ЧА-1 – 0.9% и ЧА-2 – 15.8%. Доля грибов, за исключением образца ЧА-1 (87.5%) варьировала от 28.9 до 32.5%. Protozoa были идентифицированы как минорный компонент микробного сообщества (0.3%) и выявлены только в образце ЧА-2.

С помощью ITS2-баркода были выявлены исключительно зеленые водоросли (Chlorophyta). Использование хлоропластного гена 16S рРНК позволило дополнительно идентифицировать таксоны из царства Viridiplantae и супергруппы SAR.

В пятой главе диссертации под названием «**Морфологический и молекулярно-генетический анализ новых для науки микроводорослей и цианобактерий из эродированных почв Ферганской долины»** представлены результаты исследований по инвентаризации таксономического состава микроводорослей и цианобактерий эродированных почв Ферганской долины. В исследований были обнаружены несколько штаммов, которые по данным молекулярно-генетического анализа не соответствуют ныне известным представителям почвенной альгофлоры. Результаты использования интегративного подхода показали, что штаммы относятся к новым для науки таксонам. Примечателен тот факт, что в истории современной альгологической науки Узбекистана и Средней Азии в целом, впервые были обнаружены новые виды цианобактерий и водорослей.

В первом подразделе этой главы представлены данные морфологического и молекулярно-генетического анализа штамма, принадлежащего космополитным нитчатым водорослям рода *Klebsormidium,* который относится к отделу Charophyta, населяющий широкий спектр морских, пресноводных, почвенных, а также воздушных сред обитания (Самолов и др., 2019).

Выделенный нами штамм *Klebsormidium* VKM Al-436 представлял собой нитчатую водоросль с нитями средней длины, до 11–50 клеток (рис.5).

Известно, что для рода *Klebsormidium* ген 18S рРНК, а также внутренние транскрибируемые спейсеры (ITS1 и ITS2) являются консервативными молекулярными маркерами и не позволяют провести четкое разделение между некоторыми кладами (особенно B и C) и между видами (особенно в кладе E), что показано в исследованиях (Mikhailyuk et al., 2015). Поэтому для видовой идентификации представителей данной группы используют более вариабельный пластидный ген *rbc*L.

На примере представителей клад F и G, видовое разнообразие которых в настоящее время наиболее полно описано (Mikhailyuk et al., 2015; Samolov et al., 2018), можно сказать, что уровень межвидовых различий внутри рода колеблется от 2 до 16.6% по *rbc*L. Делимитация видов, проведенная с помощью шести различных методов (ASAP, LocMin, KoT, GMYC, mlPTP и bPTP) подтвердила самостоятельность нового вида.

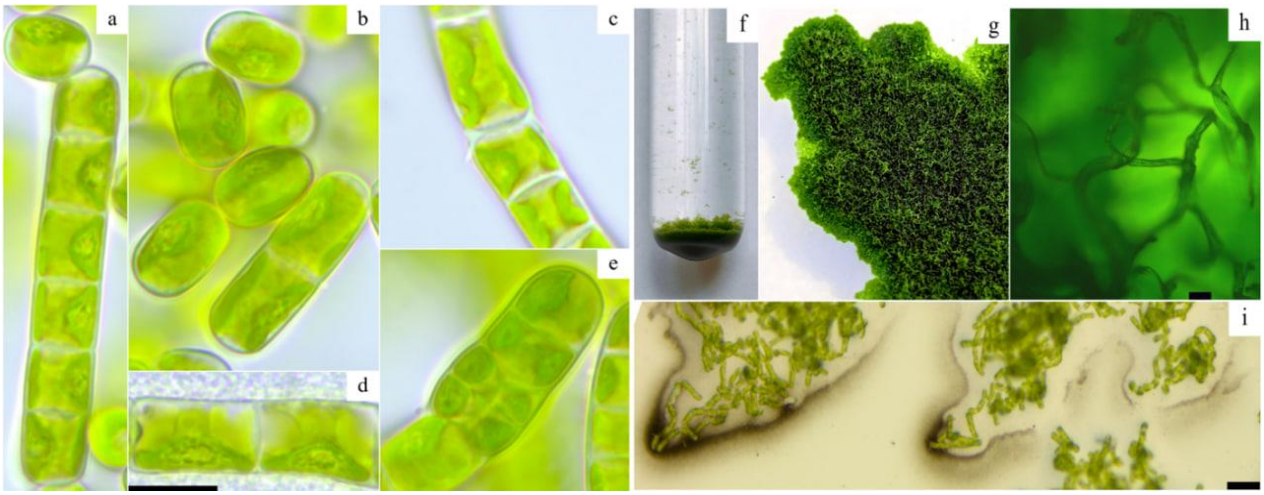


Рисунок 5. Морфология штамма *Klebsormidium* sp. VKM Al-436: a, b - общий вид нитей и одиночных клеток; c - H-образные фрагменты клеточной стенки; d - клетки с четко видимыми ядром и ядрышком; e - образование двурядных нитей; f - хлопьевидные колонии в жидкой культуре; g - войлочно-подобные колонии на агаровой пластинке; h - скопления воздушных нитей на агаровой пластинке, i - нити, окрашенные тушью для выявления слизи. Масштабные линейки: (a-e) 10 мкм, (h-i) 50 мкм.

Таким образом, учитывая независимое филогенетическое положение исследуемого штамма VKM Al-436 и уровень генетических различий с сестринским аутентичным штаммом *K. subtile* SAG 384–1, этот штаммявляется новым для науки видом рода *Klebsormidium*, который мы предложили назвать *Klebsormidium mirabile*.

Голотип. Klebsormidium mirabile Yu. Tukhtaboeva et.al. sp. nov.

Аутентичная культура*:* Культура аутентичного штамма ВКМ Al-436 хранится во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ) Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.И. Скрябина Пущинского биологического научного центра Российской академии наук, г. Пущино, Россия.

Типичная иллюстрация*:* Рис. 5.

Место обитания: почва.

Типовое местонахождение: Ферганской долины, Папский район, Наманганской области, из почвы умеренный эрозии Папских адыров, 40°52'37,14" N, 70°59'44,76" E.

Во втором, третьем и четвертом подразделах пятой главы представлено морфологическое и молекулярно-генетическое описание новых кандидатов

виды *Spongiocarsinopsis* и *Nodosilinea,* а также в *Leptolyngbya*-подобный род *Spongiosarcinopsis* sp. (рис. 6).

Штамм *Spongiosarcinopsis* sp. VKM Al-495 имел молодые клетки сферической формы, 7–10 мкм в диаметре, покрытые тонкой гладкой оболочкой. На ITS2-дереве штамм VKM Al-495 занимал независимое положение от аутентичных штаммов типового вида *Spongiosarcinopsis terrestris* ACSSI 23 (Temraleeva et al., 2018) и недавно описанных видов *S. limneus* (Lortou et al., 2022) и *S. qinghaiensis* (Yan et al., 2022), образуя группу с высокой статистической поддержкой (97%) со штаммами FACHB-3538, FACHB-3500, FACHB-3499 и KAERI-NJ23. Генетические различия внутри этой группы варьировали от 0 до 2.4%.

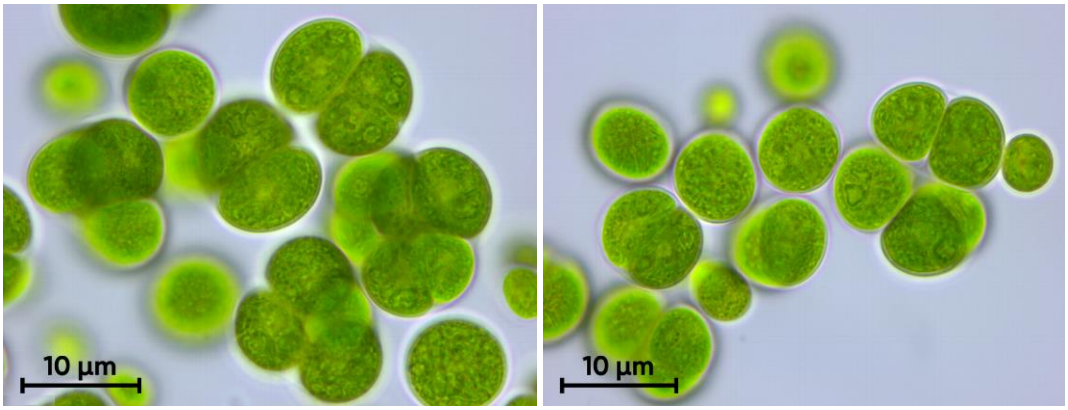


Рисунок 6. Морфологическое строение *Spongiosarcinopsis* sp.

Также была проанализирована вторичная структура последовательностей ITS2 видов рода *Spongiosarcinopsis*. ITS2 штамма VKM Al-495 является самым длинным за счет вставок во второй шпильке. Анализ вторичной структуры ITS2 штамма VKM Al-495 показал отсутствие CBC в консервативных регионах ITS2 по сравнению со всеми тремя аутентичными штаммами. По результатам полученного морфологического и молекулярно-генетического анализа выявленный таксон является новым, неописанным видом рода *Spongiosarcinopsis*.

«Кандидат в новый *Leptolyngbya*-подобный род». Морфология штамма VKM Al-494 в целом соответствовала роду *Leptolyngbya* (Komárek, Anagnostidis, 2005; с. 174). Тем не менее, род *Leptolyngbya* был признан полифилетичным (Komárek et al., 2014) и из его состава было выделено множество новых родов, например *Haloleptolyngbya, Myxacorys, Nodosilinea, Oculatella, Phormidesmis, Plectolyngbya, Stenomitos* и др. (Guiry, Guiry, 2024). По данным 16S рРНК-анализа штамм VKM Al-494 принадлежал семейству Nodosilineaceae. Наиболее близкими родственниками с высокой статистической поддержкой группы были 2 последовательности, принадлежащие некультивируемой (FJ516017) и неклассифицированной (MH666135) цианобактериям. Генетические дистанции внутри группы варьировали от 4.1 до 5.3%. Из идентифицированных таксонов ближайшими стали роды *Haloleptolyngbya, Nodosilinea* и *Marileptolyngbya*. Генетические дистанции между штаммом VKM Al-494 и их аутентичными штаммами

типовых видов были 5.9, 5.4 и 5.5%, соответственно. Это соответствует межродовому уровню генетических различий. Таким образом, выделенных штамм является кандидатом в новый род семейства Nodosilineaceae порядка Nodosilineales. **«Кандидат в новый вид рода *Nodosilinea*».** На основе морфологического и молекулярно-генетического анализа штамм VKM Al-498 принадлежал роду *Nodosilinea*. Генетические дистанции внутри рода составляли от 0 до 4.43%.

Однако считается, что различия в последовательности гена 16S рРНК являются недостаточными для разграничения видов цианобактерий рода *Nodosilinea*, как ранее отмечалось при описании новых видов *N. chupicuarensis* (Vázquez-Martínez et al., 2020), *N. coculeatus* и *N. terrestrialis* (Nuryadi et al., 2024). Анализ вариабельного внутреннего транскрибируемого спейсера 16S-23S ITS, включая вторичную структуру и длину консервативных доменов D1-D1' и boxB, является хорошим инструментом для разделения видов рода и был успешно использован в вышеперечисленных работах. Различия во вторичной структуре спейсера между изучаемым штаммом VKM Al-498 и всеми описанными видами рода *Nodosilinea* подтвердили предположение о его самостоятельном видовом статус.

Шестая глава диссертации называется **«Таксономический анализ альгофлоры эродированных почв Ферганской долины, и ее сравнительная характеристика»** и в ней представлены результаты таксономических исследований микроводорослей и цианобактерий, выявленных в эродированных почвах, их сравнительного флористического анализа с другими регионами. В первом подразделе главы под названием «**Анализ спектров таксонов водорослей**» представлен спектральный анализ отделов, классов, порядков, семейств и родов.

В составе альгофлоры эродированных почв Ферганской долины выявлен 141 вид, принадлежащих 4 отделам, 9 классам, 20 порядкам, 58 семействам и 90 родам (табл. 2). Большинство таксонов, выявленных на исследуемой территории (72 таксона, 51,1%), относятся к отделу Chlorophyta. Распространение представителей этого отдела на изучаемой территории определяется численностью представителей класса, порядка и семейства, входящих в состав отдела, и они распределяются по определенным закономерностям в эродированных почвах.

Таблица 2

Таксономический состав эродированных почв Ферганской долины

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Cyanobacteria	1	12	20	30	53
Chlorophyta	3	3	26	46	72
Heterokontophyta	3	3	10	11	12
Charophyta	2	2	2	3	4
Всего	**9**	**20**	**58**	**90**	**141**

На втором месте (53; 37.6%) располагается отдел Cyanobacteria. Далее, следующее место в спектре ведущих отделов занимает Heterokontophyta (12; 8.5%), который включает диатомовые и желто-зеленые водоросли, и Charophyta (42.8%). Однако в разных географических локациях отдел Chlorophyta доминировал не всегда, уступая отделу Cyanobacteria, например в Чартакских адырах (46 видов). Отдел цианобактерий лидировал в почвах Шорсувских адыров Ферганской области и Чартакских адыров Наманганской области (табл. 3).

Несмотря на относительную удаленность двух последних участков и принадлежности к разным горным системам представители отдела цианобактерий распространены здесь практически в одинаковой пропорции – 29 и 26 представителей, соответственно. В тоже время нитчатые представители обнаружены в большом количестве преимущественно на северных склонах Чартакских адыров, в поверхностных слоях эродированных почв (*Cylindrospermum majus, Timaviella edaphica, Tolypothrix tenuis, Oscillatoria anguina, Nodosilinea* sp.). На исследуемой территории наряду с нитчатыми представителями (*Cylindrospermum licheniforme, Cylindrospermum muscicola, Leptolyngbya angustissima*) широко распространены шаровидные коккоидные цианобактерии (*Microcoleus vaginatus*, *Synechococcus elongatus*).

Таблица 3

Таксономический состав видов на обследованных участках

Отделы	**АА**	**ЧА**	**НА**	**ПА**	**РА**	**ТА**	**Чим.А**	**ША**
Cyanobacteria	18	29	15	20	15	11	20	26
Chlorophyta	20	46	16	17	31	11	15	11
Charophyta	2	3	2	2	3	0	0	0
Heterokontophyta	2	6	2	2	4	1	3	4
Всего	**42**	**84**	**35**	**41**	**53**	**23**	**38**	**41**

Наименьшее количество таксономических единиц низших рангов пришлось на представителей отделов Charophyta и Heterokontophyta. Примечателен тот факт, что представители отдела Charophyta вообще не отмечены в адырах Туракурган, Чимян и Шорсув. Возможно, это связано с тем, что почвенная среда этих участков района исследований не обладает необходимыми (экологическими) условиями для роста представителей обоих отделов.

Ведущим классом являлся класс Cyanophyceae (53 таксона), далее в спектре доминирующих классов по количеству видов распологаются зеленые водоросли классов Chlorophyceae (39) и Trebouxiophyceae (31). К ним примыкают диатомовые водоросли класса Bacillariophyceae (9).

Среди ведущих порядков альгофлоры шесть включали 92 вида (65.2%), были определены как доминирующие. Среди цианобактерий эродированных почв Ферганской долины доминировали порядки Nostocales (19 таксонов), Oscillatoriales (12) и Leptolyngbyales (9), в то время как остальные, такие как Chroococcales (2), Chroococcidiopsidales (1), Desertifilales (1), Geitlerinematales

(1), Gomontiellales (1), Nodosilineales (2), Oculatellales (1), Pseudanabaenales (1) и Synechococcales (3) были представлены незначительным количеством видов. Среди порядков, относящихся к отделу Chlorophyta ведущими по количеству видов были Sphaeropleales (21), Chlamydomonadales (18) и Prasiolales (13). Среди диатомовых водорослей преобладал порядок Naviculales (5). Желто-зеленые и эустигматофитовые водоросли были представлены порядками Tribonematales (2) и Eustigmatales (1), соответственно, к харофитовым водорослям принадлежали представители порядков Klebsormidiales (3) и Desmidiales (1). Спектры таксонов водорослей на уровне порядков также были наиболее обильны и разнообразны в эродированных почвах Наманганской области, особенно в почвах Папских адыров (Папский район) и Резаксая, в которых альгофлора была изучена не только с помощью световой микроскопии и культивирования, но и методом ДНК-метабаркодинга.

Во втором подразделе разделе данной главы под названием «**Сравнительная характеристика с альгофлорами сходных местообитаний и с альгофлорой почв Республики Узбекистан»** представлен сравнительный анализ альгофлоры эродированных почв Ферганской долины с территориями с близкими характеристиками местообитаний.

В первом этапе была проведена сравнительная характеристика альгофлоры почв восьми изученных участков. Наибольший коэффициент сходства (0,53) выявлен в паре альгофлор Аламушук и Поп, а наименьший (0,12) Туракурган и Шорсув. Низкие коэффициенты сходства, вероятно, связаны с такими свойствами почвы, как неоднородность и микромозаичность, что влияет на таксономический состав микроорганизмов. Единственным видом, обнаруженным на всех 8 участках, была цианобактерия *Limnoraphis cryptovaginata*.

Лидерами по числу видов являются адыры Чартак (84 вида) (табл. 3). Резаксай занимает второе место с 53 видами. За ним следуют участки Аламушук (42) и Шорсув (41). Самый низкий показатель распространенности зафиксирован в Туракургане (23). На основании изученных данных наибольший индекс сходства среди сравниваемых участков отмечен у альгофлор предгорий Аламушук и Нанай (40 видов). Флористическое сходство между адырами Чартак и Реазаксай составило 30 видов. Высокий уровень сходства достигается за счет видов отдела Cyanophyta, в частности *Limnoraphis cryptovaginata, Microcoleus autumnalis, Microcoleus* sp., *Microcoleus vaginatus, Oscillatoria anguina, Phormidium lividum* и др. Из числа представителей отдела Chlorophyta встречаются *Bracteacoccus aerius, Bracteacoccus giganteus, Parallela speciosa, Pseudomuriella engadinensis, Chlamydomonas debaryana* var. *atactogama*, *Chlamydomonas gloeogama, Muriella terrestris, Tetraspora* sp., *Dictyococcus varians, Deuterostichococcus marinus* и др. Водоросли *Closterium pusillum* и *Klebsormidium* sp., относящиеся к отделу Charophyta, имеют неначительную долю во флористическом сходстве сравниваемых районов. Примечательно, что относительно видов отдела Heterokontophyta сходства не обнаружено.

Биоразнообразие альгофлоры участков эродированных почв Ферганской долины оценивалось с использованием расчета индексов Шеннона-Вайнера (The Shannon-Weiner Species Diversity Index) (рис. 10) и Симпсона (Simpson's Diversity Index).

Применение индекса Шеннона-Вайнера позволило оценить биоразнообразие в отдельных исследованных районах Ферганской долины. Согласно полученным результатам, район Шорсув имел самое высокое значение индекса для отделов Cyanobacteria и Heterokontophyta, соотвественно. Расположенный в юго-западной части Ферганской долины, этот регион отличается особым типом почв и географическим положением. Тип почвы – песчаная, светло-серая.

Согласно индексу Симпсона, наименьшее значение соответствует высокому видовому разнообразию. Шорсувский район по данному индексу также выделяется высоким уровнем биоразнообразия, представленным отделами **Cyanobacteria** и **Heterokontophyta**. В Резаксайском районе высокий уровень приходится на Chlorophyta, а в Нанайском районе - Charophyta. Результаты, полученные с использованием индекса Симпсона, подтверждают индексы Шеннона-Вайнера, что свидетельствует о достоверности проведенных исследований и полученных результатов.

В стационарных участках наряду с распространением цианобактерий и микроводорослей был проведён анализ степени, типа и категории эрозии. Согласно данным Махсудова (2018), в Ферганской долине наблюдаются водная и ветровая эрозия, различающиеся по степени (слабая, средняя и сильная) и классифицируемые по пяти категориям. При анализе альгофлоры в соответствии с указанными степенями эрозии было установлено, что основная часть общей альгофлоры 53,2 % таксонов (75 видов) выявлена в районах, подверженных водной и ветровой эрозии. 17,02 % альгофлоры (24 вида) приходится на участки с водной эрозией II категории; 12,76 % (18 видов) на участки с водной эрозией II, IIa и III категорий; 9,93 % (14 видов) характерны исключительно для районов с сильной ветровой эрозией V категории, а 7,09 % (10 видов) только для районов с водной эрозией III категории. Виды, широко распространённые исключительно на почвах, подверженных ветровой эрозии, встречаются в южной и юго-западной частях Ферганской долины. В изучаемых районах степень эрозии также высока: постоянные ветры уносят поверхностный слой почвы. Сохранение здесь только тех видов альгофлоры, которые устойчивы к таким условиям, объясняется их особым клеточным строением и адаптацией клеточной оболочки, что позволяет им выживать на поверхности почвы, скреплять почвенные частицы и способствовать снижению эрозии. Поэтому эти виды можно рассматривать как перспективные эрозионно-устойчивые виды.

Флористический список видов цианобактерий и водорослей эродированных почв Ферганской долины был сравнен с более ранними альгологическими работами К.Мусаева (1964), Ш.Тожибоева (1973), С.Мамасолиева (2019) и Ю. Тухтабоевой (2019). Количество таксонов в

перечисленных списках, валидированных по данным AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2024), было соответственно 178, 144, 138 и 145. Тем не менее, сравниваемые флоры отличались очень низким коэффициентом сходства: наиболее близкой по сравнению с данной работой была альгофлора основных типов почв Ферганской долины (Тухтабоева, 2019) с коэффициентом сходства 0.19. Далее расположились альгофлоры рекрационных почв Андижанской области 0.17 (Мамасолиев, 2019), альгофлора целинных почв Ташкенсткой области 0.16 (Тожибоев, 1973). Наименьший коэффициент сходства 0.09 был отмечен при сравнении с альгофлорой орошаемых почв Ташкентской области (Мусаев, 1964).

Подобный результат может быть связан с несколькими причинами. Во-первых, использование в нашей работе современных методов культурального и метабаркодингового подходов, в то время как в предыдущих исследованиях использовался классический ботанический подход на основе морфологического анализа. Во-вторых, различия в степени увлажнения изученных почв. Во всех сравниваемых почвах, начиная с орошаемых почв (Мусаев, 1964), городских почв (Мамасолиев, 2019) или целинных почв Ташкентской области (Тожибоев, 1973), уровень увлажнения или затененности почв намного выше по сравнению с нашим аридным районом исследования. В-третьих, чрезвычайная гетерогенность распределения микроорганизмов в почвах в целом и нашего район исследования характеризуется эродированной почвой.

В третьем подразделе шестой главы диссертации под названием **«Морфофизиологическая и экологическая характеристика цианобактерий и водорослей эродированных почв Ферганской долины»** представлен сравнительный анализ морфофизиологических и экологический характеристик микроводорослей и цианобактерий по регионам, при анализе которых было выявлено несколько закономерностей. Преобладающими типами морфологической организации таллома водорослей эродированных почв Ферганской долины были коккоидный (49%) и нитчатый (38%). Причем первый тип был характерен в основном для зеленых, эустигматофитовых и диатомовых водорослей, а последний - для цианобактерий. У 57% эукариотических водорослей пиреноид отсутствовал, что объясняется его функцией в механизме концентрации углерода.

Способность некоторых зеленых микроводорослей вырабатывать высокие уровни вторичных каротиноидов, которые связаны с защитой клеток от стрессовых условий и оптимизацией фотосинтетических процессов, открывает перспективы для биотехнологических исследований.

Седьмая глава диссертации озаглавлена **«Биотехнологический потенциал цианобактерий и микроводорослей эродированных почв»**, и ее первый подраздел посвящен результатам полногеномного анализа **цианобактерии VKM Al-498 *Nodosilinea* sp. и ее биотехнологическому потенциалу**. В процессе анализа данных высокопроизводительного секвенирования (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К.

Скрябина РАН, Пущино, Россия.) изучаемой культуры цианобактерии *Nodosilinea* sp., помимо целевого генома VKM Al-498, были идентифицированы еще 2 бактериальных генома, относящихся к семействам Rhodobacteraceae, Pseudomonadota (полнота сборки генома 99.71%) и Cellulomonadaceae, Actinomycetota (полнота сборки генома 93.55%).

Филогеномный анализ штамма с 20 ближайшими родственными геномами из генетического банка NCBI (KBase анализ по 49 генам) показал его родство с типовым видом рода *Nodosilinea* - *N. nodulosa* PCC 7104. Сходство между геномами составляло 81.7%, между нашим геномом и *Leptolyngbya* sp. KIOST-1 — 82.5%, а между *N. nodulosa* PCC 7104 и *Leptolyngbya* sp. KIOST-1 — 80.9%. Все значения были ниже порогового для разграничений видов 85–95% (Rodriguez et al., 2021; Viver et al., 2021; Conrad et al., 2022), что позволяет отнести все три штамма к разным видам рода *Nodosilinea.*

Во втором подразделе главы представлены результаты **анализа жирных кислот в микроводорослях родов *Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* и *Klebsormidium***. Для анализа жирнокислотного состава были отобраны пять штаммов зеленых микроводорослей коккоидной, сарциноидной и нитчатой организации таллома, принадлежащих порядкам Sphaeropleales (Chlorophyceae, Chlorophyta), Chlamydomonadales (Chlorophyceae, Chlorophyta), Klebsormidiales (Klebsormidiophyceae, Charophyta) и изолированных из почв Чартакских, Папских, Аламушукских и Резаксайских адыров. По итогам морфологического и молекулярно-генетического анализа штаммы были идентифицированы как *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443, *Pseudomuriella schumacherensis* VKM Al-444*, Chlorosarcinopsis* sp. VKM Al-445, *Tetradesmus obliquus* VKM Al-493 и *Klebsormidium mirabile* VKM Al-436. Содержание ЖК в штаммах *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443, *P. schumacherensis* VKM Al-444 и *T. obliquus* VKM Al-493 составляло около 9% от сухого веса, а в штамме *K. mirabile* VKM Al-436 - 11% от сухого веса. Максимальным содержанием ЖК характеризовался штамм *Chlorosarcinopsis* sp. VKM Al-445, которое составляло 16.9% от сухого веса. Штамм *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443 можно рассматривать как потенциального продуцента пальмитиновой и линолевой кислот; штамм *P. schumacherensis* VKM Al-444 — как продуцента α-линоленовой, пальмитиновой и олеиновой кислот; штамм *Chlorosarcinopsis* sp. VKM Al-445 – как продуцента пальмитиновой и олеиновой кислот; штамм *T. obliquus* VKM Al-493 – как потенциального продуцента α-линоленовой кислоты, а штамм *K. mirabile* VKM Al-436 - α-линоленовой, линолевой и пальмитиновой кислот. При этом максимальным содержанием пальмитиновой и олеиновой кислот отличился штамм *Chlorosarcinopsis* sp. VKM Al-445 (26.1% и 24.4%, соответственно), линолевой кислоты – *Bracteacoccus* sp. VKM Al-443 (45.3%) и α-линоленовой – *K. mirabile* VKM Al-436 (24.5%). Биомасса указанных штаммов за счет продукции ПНЖК может быть использована как сырье для производства продуктов питания, биологически активных добавок,

кормов для животных и фармацевтических препаратов, а также смазочных, лакокрасочных, моющих и косметических средств. Данная работа представляет собой первое исследование биотехнологического потенциала штаммов зеленых микроводорослей родов *Bracteacoccus*, *Pseudomuriella*, *Chlorosarcinopsis*, *Tetradesmus* и *Klebsormidium*, изолированных из почв аридных экосистем Ферганской долины.

В восьмой главе диссертации под названием «**Разработка технологии инокуляции микроводорослей в качестве почвозащитного мероприятия**» представлены результаты по разработанной технологии на основе нитчатых микроводорослей для восстановления и защиты эродированных почв. Первый подраздел главы называется «**Влияние инокуляции нитчатых харофитовых микроводорослей на физико-химические свойства эродированной почвы»**. Для данного эксперимента при инокуляции использовали нитчатую микроводоросль *Klebsormidium mirabile*, относящуюся к отделу Charophyta, положительное влияние которой оценивали по изменению такихфизико-химические свойств почвы каксодержание гумуса, азота, фосфора, калия и pH (рис. 7).

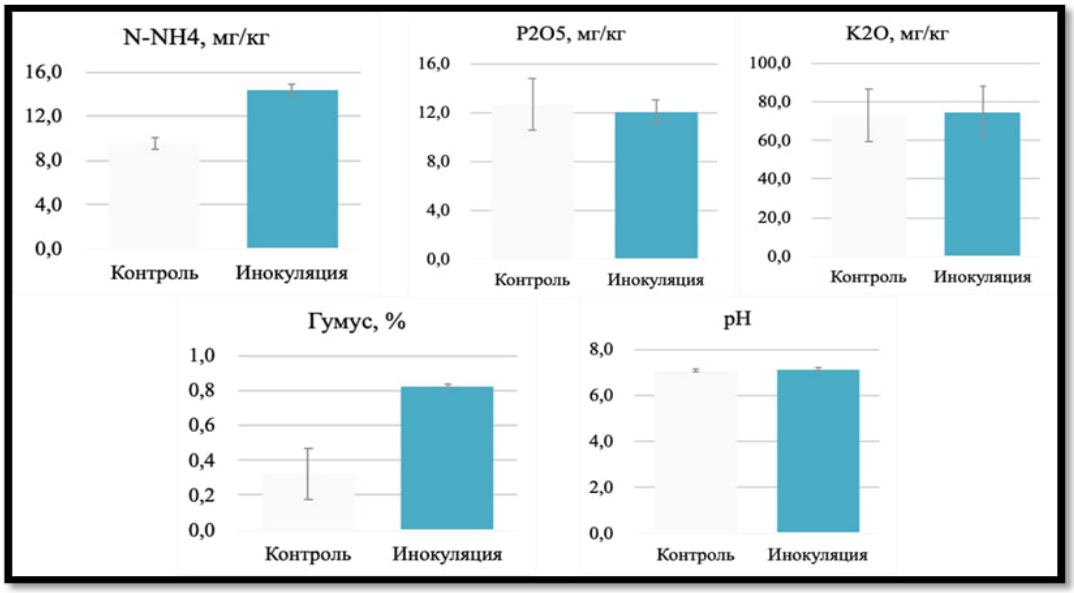


Рисунок 7. Физико-химическая характеристика почвы при инокуляции микроводорослевой биомассы и без нее.

Во втором подразделе главы под названием **«Оценка фотосинтетической микробной биомассы почвы»** представлены результаты экспериментов в почвах, инокулированных нитчатыми водорослями *Klebsormidium* sp. После инокуляции водорослевой биомассой на 30-й день эксперимента в опытных образцах наблюдали видимые зеленые «пятна цветения» на поверхности почвы, которые еще больше увеличились к 60-му дню эксперимента. Эти разрастания— «цветение» почвы — были связаны с массовым развитием фотосинтезирующих микроводорослей. В контроле, то есть без водорослевой инокуляции, «цветение» почвы не наблюдалось на протяжении всего срока эксперимента.

Концентрация почвенного хлорофилла *a* в опыте (с инокуляцией) превышала таковую в контроле в 4 раза, а содержание почвенного хлорофилла, выраженного в хлорофилльных единицах (ХЕ), было выше в 4.7 раза в опыте по сравнениею с контролем. Все различия были статистически значимыми ($p \leq 0.01$).

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований по диссертации доктора наук (DSc) «Таксономическое разнообразие и биотехнологический потенциал цианобактерий и микроводорослей эродированных почв Ферганской долины» представлены следующие выводы:

1. Впервые был установлен таксономический состав цианобактерий и микроводорослей в эродированных почвах Ферганской долины на основе морфологического и молекулярно-генетического анализа, который включает 141 вид, принадлежащий 4 отделам, 9 классам, 20 порядкам и 58 семействам.

2. В составе альгофлоры эродированных почв Ферганской долины лидируют отдел Chlorophyta (72 вида) и отдел Cyanophyta (53 вида). Среди цианобактерий доминируют порядки Nostocales (19 таксонов), Oscillatoriales (12 таксонов) и Leptolyngbyales (9 таксонов); среди зелёных водорослей — Sphaeropleales (21), Chlamydomonadales (18) и Prasiolales (13). Среди диатомовых водорослей преобладает порядок Naviculales (5 видов). В желто-зелёных и эвстигматофитных водорослях представлены порядки Tribonematales (2 вида) и Eustigmatales (1 вид), а среди хараофитов — Klebsormidiales (3 вида) и Desmidiales (1 вид).

3. На основе молекулярно-генетического подхода к культурам микроводорослей были предложены для науки один новый вид — *Klebsormidium mirabile* Yu.Tuktaboeva et.al., а также кандидаты в три новых вида *Leptolyngbya* sp., *Nodosilinea* sp. и *Spongiosarcinopsis* sp., относящиеся к отделам Cyanobacteria, Chlorophyta и Charophyta.

4. Результаты ДНК-метабаркодирования позволили выявить доминирующую роль микроводорослей и цианобактерий в эродированных почвах Ферганской долины и по сравнению с классическими методами, увеличить их максимальное таксономическое разнообразие почти в 10 раз по сравнению с культуральным подходом: Согласно полученным результатам, помимо отделов цианобактерий и микроводорослей, из бактериального сообщества выделены следующие филумы: Acidobacteriota, Actinomycetota, Bacteroidota, Bacillota, Gemmatimonadota, Planctomycetota, Pseudomonadota.

5. Использование региона V3-V4 хлоропластного гена 16S рРНК позволило дополнительно выявить в альгофлоре такие роды зеленых водорослей как *Edaphochlorella, Pseudomuriella, Watanabea,* а также диатомовые водоросли родов *Bacillaria, Fistulifera, Entomoneis* и харофитовую водоросль *Klebsormidium*.

6. По результатам изучения морфологической организации таллома цианобактерий и водорослей основными типами являются коккоидный (49%)

и нитчатый (38%). Благодаря небольшим размерам и коккоидному таллому клетки микроводорослей устойчивы к дефициту влаги, а нитчатый таллом позволяет им осуществлять противоэрозионную деятельность и обволакивать частицы почвы.

7. Согласно полученным результатам по окончании исследования, при сравнении альгофлоры с использованием коэффициентов сходства Жаккара, наиболее близкий коэффициент сходства зафиксирован с альгофлорой основных типов почв Ферганской долины (Тухтабоева, 2019) - 0,19, а наиболее низкий коэффициент сходства зафиксирован с альгофлорой оорошаемых почв Ташкентской области - 0,09 (Мусаев, 1964). Это объясняется географической удаленностью исследуемой территории и экологическими условиями почв.

8. Полногеномный анализ цианобактерии *Nodosilinea* sp. выявлено комплекс потенциально биотехнологически полезных свойств, включая синтез жирных кислот, витаминов, пигментов, запасных полипептидов (цианофицина), устойчивость к токсическим соединениям, способность к спорообразованию. На основании чего был сделан вывод, что данный штамм может быть отнесен к агрономически полезным и перспективным для использования в сельском хозяйстве, т.к. обладает способностями стимулировать рост растений, участвовать в метаболизме фосфатов, устойчив к неблагоприятным факторам среды, таким как дефицит питательных веществ и влаги, воздействие тяжелых металлов и антибиотиков.

9. При поиске коммерчески успешных штаммов водорослей такие аридные экосистемы как почвы Ферганской Долины должны стать приоритетов в исследованих. Так было показано, что штаммы микроводорослей родов *Bracteacoccus*, *Pseudomuriella*, *Chlorosarcinopsis*, *Tetradesmus* и *Klebsormidium,* выделенные из эродированных почв, являются эффективными продуцентами полиненасыщенных жирных кислот. Биомасса этих штаммов может быть использована как сырье для производства продуктов питания, биологически активных добавок, кормов для животных и фармацевтических препаратов.

10. Разработана технология инокуляции нитчатой харофитовой водоросли *Klebsormidium,* которая имеют такие преимущества, как широкая толерантность к суровым условиям среды (температура, инсоляция, pH, дефицит влаги и пр.) и некоторые репродуктивные особенности (легкая дезинтеграция нитей и возможность получения покоящихся стадий), важные при почвенной альголизации. Экспериментально доказано увеличение содержания гумуса и аммонийного азота в почве в 2.6 и 1.5 раза по сравнению с контролем без инокуляции. Способность к продукции фитогормонов, органических осмолитов, микоспорин-подобных соединений (в качестве УФ-экранов), а также различные другие биохимические соединения стимулирующего или защитного характера, представляют несомненный биотехнологический интерес к микроводорослям рода *Klebsormidium*.

SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.B.39.01 ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE BOTANY

NAMANGAN STATE UNIVERSITY

TUKHTABOEVA YULDUZXON ABDUSATTOROVNA

TAXONOMIC DIVERSITY AND BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF CYANOBACTERIA AND MICROALGAE OF ERODED SOILS OF THE FERGANA VALLEY

03.00.05 – Botany

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc) ON BIOLOGICAL SCIENCES

Tashkent – 2025

The title of the doctoral dissertation (DSc) has been registered by the Supreme Attestation Commission under the Ministry of higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan with registration numbers of B2024.4. DSc/B239.

The dissertation has been carried out at the Namangan State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (re the webpage of the Scientific Council (www.botany.uz) and on the website of "ZiyoNET" In educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant:	**Tojibayev Komiljon Sharobitdinovich** Doctor of Science, academician
Official opponents:	**Adilov Bexzod Abdullaevich** Doctor of Biological Sciences
	Buriyev Sulaymon Doctor of Biological Sciences, Professor
	Kulikovskiy Maksim Sergeevich Doctor of Biological Sciences
Leading organization:	**Fergana State University**

The defense of the dissertation will take place on 20 august 2025 in 14^{00} at the meeting of Scientific council DSc 02/30.12.2019.B.39.01 on award of scientific degrees at the Institute of Botany (Address: 32 Durmon yuli str., Tashkent, 100125, Uzbekistan. Conference hall of the Institute of Botany. Tel.: (99871) 262-37-95; Fax: (+99871) 262-79-38; E-mail: botany@academy.uz).

The dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of the Institute of Botany under №74 (Address: 32 Durmon yuli str., Tashkent, 100125, Uzbekistan. Tel.: (+99871 262-37-95).

The abstract of the dissertation has been distributed on 4 august 2025.

Protocol at the register №13 dated 4 august 2025.

О.К. Хожиматов
Заместитель председателя Научного Совета по присуждению учёных степеней, д.б.н., профессор

А.В. Махмудов
Ученый секретарь Научного Совета по присуждению учёных степеней, PhD, старший научный сотрудник

Х.Ф. Шомуродов
Председатель Научного Семинара при Научном Совете по присуждению учёных степеней, д.б.н., профессор

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the research is to identify and analyze the taxonomic diversity of cyanobacteria and microalgae from eroded soils of the Fergana Valley, as well as to assess the biotechnological potential of some promising strains

The object of the research: Cyanobacteria and microalgae of eroded soils of the Fergana Valley.

The scientific novelty of the research is followed**:**

Based on metagenomic, morphological and molecular genetic approaches, the taxonomic composition of 141 species of cyanobacteria and microalgae belonging to 4 divisions, 9 classes, 20 orders, 58 families and 90 genera was determined in the eroded soils of the Fergana Valley; - The results of DNA metabarcoding made it possible to determine the dominant role of microalgae and cyanobacteria in the eroded soils of the Fergana Valley and to determine their maximum taxonomic diversity compared to classical methods; - Based on a comprehensive analysis of the algocenoses of the eroded soils of the Fergana Valley, one new species was identified to science, a full description was given, three new species were prepared for description and their biotechnological potential was assessed using metagenomic analysis;- Fatty acid analyses of a number of microalgae were conducted, and the results showed that strains belonging to the genera *Bracteacoccus, Pseudomuriella, Chlorosarcinopsis, Tetradesmus* (Chlorophyta) and *Klebsormidium* (Charophyta) are efficient producers of large amounts of unsaturated fatty acids.- Using high-throughput sequencing methods, the genome of the cyanobacterium *Nodosilinea* was fully functionally annotated.- In order to carry out soil protection measures, a technology for inoculating microalgae belonging to the *Klebsormidium* genus was developed, which achieved high results in eroded soils of the Fergana Valley, increasing soil fertility.

Implementation of research results. The dataset “Diversity and biotechnological potential of cyanobacteria and micralgae in eroded soils of the Ferghana Valley” (https://doi.org/10.15468/wg684r) was deposited in the Global Biodiversity Information System (GBIF) based on the data obtained in this work. This, in turn, contributed to the expansion of the world database of information on the geographic distribution of soil algal flora of the arid region of the Ferghana Valley. All obtained sequences were deposited in the NCBI GenBank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/) under the numbers OR838744 (rbcL); PQ504911, PQ504912, PQ488471, PQ488472 (16S rRNA); OR852641-OR852650, PQ490563-PQ490566 (ITS2); The use of an integrated approach made it possible to obtain new data on the taxonomy of the soil algal flora of the Fergana Valley. These data significantly supplemented not only the local species diversity, but also expanded modern ideas at the regional (Central Asian) level, allowing to identify new, unknown to science species of cyanobacteria and microalgae. The collected field materials and their comprehensive analysis made it possible to form a single database of the algal flora of eroded soils of the Fergana Valley (certificate of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan dated 13.12.2024, No. 4/1255–2767). This is the number one resource for the biodiversity of this

taxonomic group in the Republic of Uzbekistan, allowing for a complete inventory of the country's soil algal flora and monitoring of eroded soils of the Fergana Valley.

The volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 156 pages.

E’LON QILINGAN ISHLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I часть; I part)

1. To‘xtaboyeva Y., Tojiboev Sh., Ergasheva X., Ikramov N. Eroziyalangan tuproqning hajm og‘irligi va g‘ovakligini o‘zgarishida ishlov berish usullarining ahamiyati // Namangan Davlat universiteti ilmiy axborotnomasi maxsus son, 2020. – B. 197 - 201. (03.00.00; №17)

2. To‘xtaboyeva Y., Turg‘unaliyev F., Norinov A. Eroziyalangan tuproqlar algosenozlarining dinamikasi // Namangan Davlat universiteti ilmiy axborotnomasi maxsus son, 2021 – B. 144 - 148. (03.00.00; №17)

3. To‘xtaboyeva Y., Azimova M., Malikova A. Mikrosuvo‘tlar yordamida tuproq eroziyasining oldini olish // QarDU xabarlari, maxsus son, (63).2023. – B. 83 - 87. (03.00.00; №11)

4. To‘xtaboyeva Y., Tojiboyev Sh. The Dynamics of the Influence of Slope Exposition on the Algae in Eroded Soils // International Journal of Virology and Molecular Biology, 2023, 12(1): 1-6. – P.1 - 7. (03.00.00; №12)

5. Тухтабоева Ю., Сайдуллаханова Д., Султонова О. Метод получение чистых культур и культивирование почвенных микроорганизмов // Научный Вестник Кокандский Гпи, 2023. – №1 (9). – С. 37 - 41. (03.00.05; № 19)

6.To‘xtaboyeva Y., Odilova Y., Sultonova O. Suv eroziyasining suvo‘tlar vertikal taqsimlanishiga ta’siri // Xorazm ma’mun akademiyasi axborotnomasi, 2023. – №7/1. – B. 78 - 81. (03.00.00; №12)

7. Tukhtaboeva Y., Redkina V., Temraleeva A. Stichococcus-подобные микроводоросли (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) в эродированных почвах Ферганской долины // O‘zbekiston Biologiya jurnali, 2023. – №4. – B. 37 - 43. (03.00.00; № 5)

8. To‘xtaboyeva Yu., Sultonova O. Turli ozuqa muhitlarida *Bracteococcus bullatus*ni (Chlorophyta) yetishtirish tahlili // Fardu Ilmiy Xabarlar, 2023. – №2.– B.135 - 139. (03.00.00; № 22)

9. To‘xtaboyeva Y., Tojiboyev Sh., Sultonova O. Comparative analysis of cyanoprokaryotes studied in the research area of Fergana valley by soil types // O‘zbekiston Milliy universiteti xabarlari. Вестник НУУз ACTA NUUz, 2023. – №3/1/1 Tabiiy fanlar turkumi. – B. 139 - 143. (03.00.00; № 9)

10. To‘xtaboyeva Y., Sultonova O. Tuproq suvo‘tlarining miqdoriy hisobga olish usullari // O‘zbekiston Milliy universiteti xabarlari. Вестник НУУз ACTA NUUz, 2023. – №3/1/1. Tabiiy fanlar turkumi. – B. 154 - 157. (03.00.00; № 9)

11. To‘xtaboyeva Y. Winter analysis of erosed soils’ algoflora of Fergana valley // Guliston davlat universiteti axborotnomasi, Tabiiy va qishloq xo‘jaligi fanlari seriyasi, 2024. – № 1 ISSN 218- 7367. – B. 29 - 34. (03.00.00; № 3)

12. To‘xtaboyeva Y., Do‘stmatova I. Farg‘ona vodiysi degradatsiyaga uchragan tuproqlarida sianoprokariotlarning (Cyanoprocaryota) rivojlanish

ko‘rsatkichlari // Qo‘qon DPI. Ilmiy xabarlar, 2024. – №2/. – B. 58 - 69. (03.00.00; № 19)

13. To‘xtaboyeva Y. Сравнительный анализ жирнокислотного состава зеленых микроводорослей родов *Bracteacoccus* и *Pseudomuriella* (Sphaeropleales) // Namangan Davlat universiteti ilmiy axborotnomasi 8-son 2024. –B. 114 - 121. (03.00.00; №17)

14. Tukhtaboeva Y., Krivina E., Redkina V., Temraleeva A. Microalgae from Eroded Soils in the Northern Fergana Valley, Uzbekistan // Microbiology, 2024. Vol. 93. ISSN 0026-2617, – No. 4, – Pp. 421 - 433. (Scopus CiteScore=1.3,WOS=1.6)

15. Tukhtaboeva Y., Redkina V, Bukin Y, Temraleeva A. Diversity of Cyanobacteria and Algae in Erodited Soils of the Fergana Valley (Uzbekistan) According to Light Microscopy Data and High-Throughput Sequencing // Arid Ecosystems, 2025. – Vol. 15. – №. 2. – P. 232 – 245. (Scopus CiteScore=1.5; WOS IF=0.6 №3).

II bo‘lim (II часть; II part)

15. To‘xtaboyeva Y., Turdaliyeva N., Saidullakhonova D. Spirulina –Gift of the Gods // Oriental Journal of Biology And Chemistry.SJIF, 2022. V.5. – P.1 - 6. DOI: http://doi.org/10.37547/supsci-ojbc-02.03.01.

16. Тухтабоева Ю., Турдалиева Н., Юсуфжонова М. Экология почвенных водорослей // Research and education, 2022. V.1. ISSUE 8: 4.628.– P. 80 - 84. (Scientific Journal Impact Factor)

17. To‘xtaboyeva Y., Sultonova O., Yusufjonova M. Participation of Algae in Soil Processes // American Journal of Science a Learning for Development, 2023. V. 2. F – № 1. – P. 210 - 212.

18. Тухтабоева Ю., Тургуналиев Ф., Гофуров А., Почвы и их агрохимическая характеристика // XXI asrda biologiyaning rivojlanish istiqbollari va ularda innovatsiyalarning ahamiyati: Respublika ilmiy anjumani materiallari. – Jizzax, 2021. – B. 229 - 232.

19. To‘xtaboyeva Y., Tojiboyev Sh., G‘ulomjonova D., Turdaliyeva N. Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari algoflorasi // Modern Achievements And Problems Of Medical Science According To Resolution, 2022. – №. 1101. – P. 236 - 240.

20 Тухтабоева Ю., Гуломжонова Д., Турдалиева Н., Противоэрозионная роль водоросли // Фундаментальные и прикладные научные исследования: Сборник - статей LVIIмеждународной научно-практической конференции. – Пенза, 2022, – С. 15 - 17.

21. To‘xtaboyeva Y., Sultonova O. Eroziyalangan tuproq suvo‘tlarining o‘rganish metodlari // Biotexnologiyada Ta’lim, Fan va Sanoat Integratsiyasi: Respublika Ilmiy-Texnikaviy Anjumani. – Toshkent,2022.– B. 177 - 180.

22. To‘xtaboyeva Y., Nuriddinov D., Sultonova O. Farg‘ona vodiysi eroziyalangan tuproqlari algoflorasini o‘rganish va ularni tuproq muhofazasidagi ahamiyati // International Conference: Conservation Of Eurasian Biodiversity:

ContemporaryProblems, Solutions And Perspectives Part II. Conference partne Ege University, Tukiy Ku State University, Aze. – Andijan, 2023.– P. 91 - 95.

23. To‘xtaboyeva Y. Mineral nutrition of soil microalgae // Materials of international Scientific-Practical Conferens: Modern Approaches In The Study Of The Plant Kingdom, dedicated to the Year of Heydar Aliyev. – Baku, 2023. –P. 179 - 180.

24. Тухтабоева Ю. Эффективное использование зеленых культур микроводорослей в повышении продуктивности селскохозяйственных культур // Biologiyaning zamonaviy tendensiyalari: muammolar va yechimlar. – Termiz, 2023. – B. 30 - 35.

25. Тухтабоева Ю. Физико-географическая характеристика эродированных почв Ферганской долины // O‘simlik mahsulotlarining yetishtirishda kimyoviy, biotexnologik va molekulyar genetik yondashuvlar: Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. – Guliston, 2024. –B. 233 - 237.

26. Тухтабоева Ю., Тожибоев Ш., Турсунова Ш. Морфологический и молекулярно-генетический анализ некоторых видов выделенных из левых холмов Чартака (Ферганская долина, Наманганский область) // Сохранение биологического разнообразия в Центральной Азии: проблемы, решения и перспективы: I- международной научно-практической конференции. – Наманган, 2024. – С. 152 - 159.

27. Тухтабоева Ю. Новое местонахождение *Muriella Terrestris (Chlorophyta, Trebouxiophyceae)* в почвах Ферганской долины (Узбекистан) // Biologiyaning dolzarb muammolari: fan, ta’lim va ishlab chiqarish integratsiyasi: Respublika ilmiy-amaliy anjumani. – Jizzax, 2024. – B. 7 - 11.

28. Тухтабоева Ю., Дусматова И., Шералиева Д. Разнообразие цианобактерий и микроводорослей, их функции при восстановлении деградированных почв // История и современность: аграрные исследования в области земледелия и растениеводства к 90-летию со дня основания Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства. – Алмалыбак, 2024. – С. 231 - 237.

29. Тухтабоева Ю., Шералиева Д., Султонова О. Альгофлора на эродированных почвах Ферганского региона(Ферганский область. Узбекистан) // Status And Development Prospects Of Fundamental And Applied Microbiology: International Scientific And Practical Conference. – Tashkent, 2024. – P. 593 – 597.

Avtoreferat « O‘zbekiston biologiya jurnali » jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 $^{1}/_{16}$. «Times New Roman» garniturasi.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 4. Adadi 100 dona. Buyurtma № 33/25.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.