

Код МРНТИ 38.21.01

Н. Әбдімүтәліп, Ә. Құралбай, *Г. Тойчибекова, А. Еримова

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

АНТРОПОГЕНДІК ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІНЕН ТҮРКІСТАН ҚАЛАСЫНЫҢ ТОПЫРАҚ-ЖЕР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ- ГЕОМОРФОЛОГИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада Түркістан қаласының топырақ жамылғысына антропогендік жүктемелер мен климаттық өзгерістердің әсері кешенді түрде бағаланған. Көлік және өнеркәсіптік қызметтің артуы мен жауын-шашын тапшылығы топырақ деградациясын күшейтетіні анықталды. Дала және зертханалық талдаулар нәтижесінде топырақтың физика-химиялық қасиеттері мен ауыр металдар (*Pb, Zn, Cu, Cd*) құрамындағы өзгерістер айқындалды. Гумус мөлшері азайып, қышқылдану мен тұздану үрдістері артқаны және ауыр металдар шекті нормадан асқаны байқалды. Экологиялық тұрақтылық төмендеп, көлік пен өндіріс аймақтарында ластану күшейген. Нәтижелер экологиялық мониторинг пен жасыл инфрақұрылымды жоспарлауда маңызды.

Түйінді сөздер: Түркістан қаласы, топырақ жамылғысы, урбанизация, климаттық өзгерістер, деградация, ауыр металдар, гумус, тұздану, экологиялық мониторинг.

Geological and geomorphological changes of the soil-ground cover of Turkistan city under the influence of anthropogenic and climatic factors

Abstract. The article presents a comprehensive assessment of the impact of anthropogenic pressures and climate change on the soil cover of Turkistan city. It was found that increased transport and industrial activities and reduced precipitation intensify soil degradation. Field and laboratory analyses revealed changes in the physico-chemical properties and heavy metal content (*Pb, Zn, Cu, Cd*) of soils. A decrease in humus, increased acidification and salinization, and heavy metal concentrations above permissible limits were observed. Soil ecological stability is declining, especially in transport and industrial zones. The results are significant for environmental monitoring and urban green infrastructure planning.

Key words: Turkistan, soil cover, urbanization, climate change, degradation, heavy metals, humus, salinization, environmental monitoring.

Геолого-геоморфологические изменения почвенно-грунтового покрова города Туркестан под влиянием антропогенных и климатических факторов

Аннотация. В статье проведена комплексная оценка влияния антропогенных нагрузок и климатических изменений на почвенный покров города Туркестан. Установлено, что рост транспортной и промышленной активности, а также дефицит осадков усиливают деградацию почв. По результатам полевых и лабораторных анализов выявлены изменения физико-химических свойств и содержания тяжелых металлов (*Pb, Zn, Cu, Cd*). Отмечено снижение гумуса, усиление подкисления и засоления, превышение концентраций тяжелых металлов над нормами. Экологическая устойчивость почв снижается, особенно в транспортных и промышленных зонах. Результаты важны для экологического мониторинга и планирования зеленой инфраструктуры.

Ключевые слова: город Туркестан, почвенный покров, урбанизация, климатические изменения, деградация, тяжелые металлы, гумус, засоление, экологический мониторинг.

Кіріспе

Түркістан қаласы маңындағы геологиялық орта негізінен төрттік дәуір шөгінділерінен, ал бедердің морфологиялық құрылымы – аллювийлік және пролювийлік жазықтардан тұрады. Соңғы жылдары жүргізілген құрылыс, инженерлік және ирригациялық жұмыстардың әсерінен осы шөгінділердің физикалық-механикалық қасиеттері өзгеріп, топырақ пен жерасты суларының өзара байланысы бұзылуда. Бұл жағдай өз кезегінде экзогендік геологиялық үдерістердің, соның ішінде эрозия, дефляция, суармалы тұздану және шөгінді шөгінділердің тығыздалу процестерінің күшеюіне әкелуде. Осыған байланысты Түркістан қаласының топырақ-жер қабатының геологиялық-геоморфологиялық өзгерістерін зерттеу – өңірдің экологиялық тұрақтылығын бағалау, құрылыс пен жер пайдаланудағы инженерлік шешімдерді оңтайландыру үшін өзекті ғылыми-тәжірибелік мәселе болып табылады. Мұндай зерттеулер жер бедерінің қазіргі морфологиялық динамикасын анықтауға, экзогендік процестердің таралу аймақтарын болжауға және табиғи-техногендік тәуекелдерді төмендету жолдарын ұсынуға мүмкіндік береді [1]. Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық құрылымындағы кеңістіктік өзгерістерді, жер бедері пішіндерінің динамикасын және шөгінді жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу – өңірдің табиғи ортасының тұрақтылығын бағалау мен антропогендік әсер деңгейін анықтау үшін маңызды. Геологиялық-

геоморфологиялық процестердің бағытын түсіну қала аумағында жасыл инфрақұрылымды жоспарлау, инженерлік құрылыстардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету, жердің деградациясын болдырмау және рекультивация мен экологиялық мониторингтің мақсатты шараларын әзірлеу үшін қажет. Қазақстанның оңтүстігінің аридтік аймағында орналасқан Түркістан қаласы зерттеу үшін бірегей табиғи-антропогендік полигон болып табылады. Қала аумағы геоморфологиялық тұрғыда аллювийлік және пролювийлік жазықтармен, сондай-ақ ежелгі өзен аңғарлары мен эолдық формалармен сипатталады. Соңғы онжылдықтарда мұнда халық санының өсуі, қарқынды құрылыс және инфрақұрылымның дамуы нәтижесінде техногендік жүктеме айтарлықтай артқан. Бұл үрдістер жер беті мен жерасты суларының тепе-теңдігін бұзып, эрозиялық және дефляциялық процестердің белсенділенуіне алып келуде. Сонымен қатар, аймақтың климаты - жоғары ауа температурасы мен жауын-шашын тапшылығымен сипатталатын айқын континенттік тип. Мұндай жағдайлар жыныстардың физикалық үгілуін күшейтіп, бедердің морфодинамикасын өзгертеді және геоморфологиялық процестердің (эрозия, шөгінділердің қайта таралуы, карст, дефляция) белсенді жүруіне себеп болады. Бұрын Қазақстанның оңтүстігіндегі зерттеулер көбіне ауыл шаруашылығы жерлерінің топырақ құнарлылығына бағытталған болса, қазіргі уақытта Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйесінің антропогендік және климаттық трансфор-

мациясын кешенді түрде зерттеу өзекті ғылыми міндетке айналып отыр. Алайда Түркістанда қала топырағының жай-күйі бойынша жүйелі жұмыстар өте аз, бұл кешенді талдау жасау қажеттігін туғызады [2, 3].

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Түркістан қаласының нақты табиғи-геологиялық жағдайларында геологиялық және геоморфологиялық процестердің өзара байланысын жүйелі түрде талдаумен айқындалады. Зерттеу барысында жер бедерінің морфодинамикалық өзгерістері мен антропогендік әсерлердің геологиялық ортаның тұрақтылығына ықпалы кешенді бағаланған. Бұл тәсіл аймақтың геоморфологиялық құрылымын, шөгінді жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерін және экзогендік процестердің даму қарқынын анықтауға мүмкіндік береді. Практикалық маңыздылығы зерттеу нәтижелерін қалалық жоспарлау, инженерлік-құрылыс жобалау, геоэкологиялық мониторинг және территорияны орнықты пайдалану стратегияларына енгізу мүмкіндігімен сипатталады. Геологиялық-геоморфологиялық талдау урбанизация тәуекелдерін, жерасты суларының деңгейінің өзгерісін, топырақ-грунт қабатының отыру және шөгу үрдістерін бағалауға негіз болады.

Зерттеу мақсаты: антропогендік жүктемелер мен климаттық өзгерістердің әсерінен Түркістан қаласының геологиялық ортасы мен жер бедерінің морфодинамикасын кешенді талдау арқылы топырақ-жер қабатының геологиялық-геоморфологиялық өзгерістерін бағалау.

Жоғарыда келтірілген мәліметтерге сүйене отырып, Түркістан қаласының орнықты дамуын қамтамасыз етудегі геологиялық және геоморфологиялық жағдайларды зерттеу іргелі ғылыми және қолданбалы міндеттерді ұштастыра отырып, өзекті бағыт болып табылады. Мұндай зерттеу аймақтың жер бедері мен шөгінді жыныстар жүйесінің картасын жасау, морфогенетикалық және морфодинамикалық процестерді бағалау, сондай-ақ антропогендік және климаттық факторлардың әсерін модельдеу арқылы геологиялық ортаның тұрақтылығын айқындауға мүмкіндік береді. Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық жүйесіне әсер ететін негізгі факторлар – қарқынды урбанизация, инженерлік жүктемелердің артуы және аридтік климат жағдайларының күшеюі. Соңғы жылдары жүріп жатқан құрылыс пен инфрақұрылымдық даму нәтижесінде жер беті қабатының бұзылуы, жер бедерінің табиғи дренаждық құрылымының өзгеруі, жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерінің төмендеуі және жердің отыру, шөгу процестерінің белсенділенуі байқалады. Құрылыс алаңдарының ұлғаюы мен топырақтың тығыздалуы табиғи инфильтрацияны шектейді, бұл өз кезегінде жер үсті ағынының артуына, су эрозиясының және жергілікті су басулардың көбеюіне алып келеді. Нәтижесінде геоморфологиялық тепе-теңдік бұзылып, қалалық экожүйенің геодинамикалық тұрақтылығы төмендейді. Қаланың көлік жүйесі мен өндірістік инфрақұрылымы геологиялық ортаның ластануына қосымша әсер етеді. Автокөліктер мен жол желілерінің ұлғаюы нәтижесінде беткі жыныстар мен техногендік шөгінділерде ауыр металдардың, көмірсутектердің және басқа уытты қосылыстардың жиналуы жүреді. Бұл элементтер шөгінді қабаттардың химиялық құрамын өзгертеді және геохимиялық

ағындардың бағытталуына әсер етеді. Сонымен қатар, құрылыс материалдарын өндіретін және коммуналдық саладағы кәсіпорындардан шығатын қалдықтар жер беті мен жерасты суларының сапасына әсер етіп, геохимиялық ластанудың ошақтарын қалыптастырады. Антропогендік факторлармен қатар климаттық өзгерістер де өңірдің геоморфологиялық динамикасына елеулі ықпал етуде. Аридизацияның күшеюі және жауын-шашынның азаюы дефляция мен эолдық процестердің белсенділігін арттырады. Бұл құбылыстардың нәтижесінде беткі қабаттағы борпылдақ шөгінділер мен топырақтың эрозиялық тозуы, гумустың азаюы және бедердің қайта пішінделуі орын алуда. Сонымен қатар, орташа жылдық температураның жоғарылауы булануды күшейтіп, қалалық ортада «жылу аралы» эффектісін қалыптастырады, ол өз кезегінде жер бедерінің микроклиматтық және гидрогеологиялық тепе-теңдігіне әсер етеді. Жоғары антропогендік қысым мен климаттық өзгерістердің үйлесуі Түркістан қаласының геологиялық ортасы мен бедер құрылымында күрделі өзара байланысты процестер кешенін туындатып отыр. Бұл факторлардың жиынтығы жер бедерінің морфодинамикалық тұрақсыздығын, шөгінді қабаттардың механикалық әлсіреуін, эрозиялық және дефляциялық процестердің күшеюін тудырып, қала аумағының орнықты геоэкологиялық дамуына қауіп төндіреді [4].

Бұл зерттеудің ғылыми жаңалығы Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйесінде жүріп жатқан өзгерістерді антропогендік және климаттық факторлардың бір мезгілде әсер етуі тұрғысынан кешенді түрде талдауда жатыр. Зерттеу барысында урбанизациялық қысым, көлік және өндірістік инфрақұрылымның әсері, техногендік жүктемелер мен аридизация, температураның көтерілуі, ылғалдылықтың төмендеуі сияқты климаттық факторлардың өзара байланысы қарастырылады. Мұндай пәнаралық геоэкологиялық тәсіл антропогендік және табиғи стрессорлардың біріккен әсерін анықтап, олардың бедердің морфодинамикасына, жыныстардың тұрақтылығына және экзогендік процестердің белсенділігіне ықпалын айқындауға мүмкіндік береді. Зерттеудің ерекшелігі – Түркістан қаласы аумағында алғаш рет геологиялық және геоморфологиялық өзгерістердің кеңістіктік саралануының кешенді картасы мен морфогенетикалық процестерді бағалау моделі ұсынылуында. Бұл модель табиғи бедердің трансформациясын және оны қоздыратын әлеуметтік-экономикалық факторлардың (құрылыс тығыздығы, көлік инфрақұрылымы, инженерлік жүктеме) өзара байланысын ескеруге мүмкіндік береді. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы – аймақтың геологиялық ортасы мен бедерінің тұрақтылығын бағалауға арналған жаңа әдістемелік тәсілді қалыптастыруында. Осы арқылы жер бедерінің тұрақсыз аймақтарын, жыныстардың физикалық-механикалық әлсіреу аймақтарын және топырақ-жер қабатының деградациялық зоналарын анықтау мүмкіндігі туындайды. Алынған нәтижелер геоэкологиялық мониторинг жүйесін жетілдіруге, қалалық жоспарлау мен инженерлік қорғау шараларын негіздеуге, сондай-ақ аридтік климат пен қарқынды урбанизация жағдайында геологиялық ортаны сақтау мен ұтымды пайдалану жөніндегі ғылыми ұсынымдарды әзірлеуге мүмкіндік береді. Түркістан

қаласы мен оған іргелес аумақтардың геологиялық және геоморфологиялық ерекшеліктері бұрынғы зерттеулерде ішінара сипатталғанымен, қалалық экожүйе аясындағы геоморфологиялық процестердің кешенді кеңістіктік-уақыттық бағалануы қазіргі уақытқа дейін жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Сондықтан бұл жұмыс өңірдің геологиялық дамуы мен антропогендік трансформациясын ғылыми тұрғыдан түсінуге бағытталған алғашқы кешенді зерттеулердің бірі болып табылады. Отандық әдебиетте Түркістан облысының күкіртті топырақты және суармалы жерлерін агрохимиялық бағалауға айтарлықтай көңіл бөлінеді. Мәселен, жұмыстардың көпшілігінде гумустың өте төмен құрамы байқалады: жыртылатын көкжиекте ол 2,15-тен 2,54%-ға дейін, жалпы азоттың 0,12–0,16% және жалпы фосфордың 0,17–0,20% болуы кезінде ауытқиды. Қоректік элементтердің жылжымалы түрлері де шектеулі: азот шамамен 80 мг/кг, фосфор – 26–35 мг/кг, калий – шамамен 600 мг/кг құрайды. Бұл көрсеткіштер топырақ құнарлылығының төмен деңгейін көрсетеді, бұл өңірлік бағалаулармен расталады, оған сәйкес Қазақстанның егістік жерлерінің 62%-ға дейін құрамында қарашірік аз, ал күкіртті топырақта 70%-ға дейін органикалық заттардың өте төмен деңгейімен (0,9–1,5%) сипатталады [5].

Өңірдің топырақ жамылғысының картографиялық және мониторингтік зерттеулері шаруашылық жүктеме жағдайларында топырақтың кеңістіктік біртекті еместігі мен әлсіз орнықтылығын көрсетеді. Ашық қоңыр топырақта қарашірік құрамы 1,3–2,9% шегінде өзгереді, қарашірік көкжиегінің қуаты шамамен 35–45 см құрайды, Сазды түрлер үшін қарашірік 2,5–3,5%-ға дейін тән, ал құмдақ және құмды топырақта бұл көрсеткіш 1,5–2%-ға дейін төмендейді. Бұл деректер өңірдің топырақ жамылғысының әлеуеті шектеулі екенін және қолдау шараларын талап ететінін растайды. Зерттеулердің едәуір бөлігі техногендік ластану проблемасына арналған. Отандық және шетелдік басылымдарда тау-кен өндіру және металлургия кәсіпорындарының әсер ету аймағында, әсіресе Кентау қаласында және көлік артериялары бойында ауыр металдардың (*Pb, Zn, Cu, Cd, Mo, As*) жиналуы тіркеледі. Түркістан қаласының ортасы үшін бұл автокөлік жүктемесінің өсуін ескере отырып, тікелей мәнге ие. Қазіргі заманғы талдау әдістерін пайдаланатын шетелдік зерттеулер өңірдің топырағы элементтердің кең спектрін жинақтайтынын, ал ауыр металдардың шоғырлануы көбінесе фондық мәндерден асып түсетінін көрсетеді. Алайда Түркістан аумағының өзі, соның ішінде тұрғын үй орамдары, жолдар мен жасыл аймақтар бойынша жүйеленген деректер әзірге жоқ.

Климаттық және геоморфологиялық факторлар Түркістан аумағындағы өзгерістердің күрделене түсуіне ықпал етеді. Түркістан өңіріне тән аридті климат жағдайында жазы өте ыстық (шілде айының орташа температурасы +28,7°C), ал қысы салыстырмалы түрде жұмсақ (-3,1°C). 2001–2024 жылдар аралығындағы орташа жылдық температура +13,8°C шамасында болып, оның тұрақты түрде өсу үрдісі байқалады. Мұндай температуралық динамика геоморфологиялық процестердің – жерасты сулары деңгейінің төмендеуі, эрозиялық және денудациялық процестердің белсенділенуі, топырақ-жер бедерінің тұрақсыздануы сияқты құбылыстардың күшеюіне әкеледі. Ылғал

тапшылығы мен жоғары температураның үйлесуі топырақтағы ылғал айналымын бұзып, дефляциялық және дегумификациялық процестерді жеделдетеді. Нәтижесінде беткі қабаттағы борпылдақ шөгінділердің бекінуі әлсіреп, желдік және су эрозиясы белең алады. Бұл, өз кезегінде, Түркістан қаласының геоморфологиялық құрылымының қайта қалыптасуына, микрорельефтің өзгеруіне және урбанизация жағдайында топырақ-грунт жамылғысының тұрақтылығын төмендетуге әсер етеді.

Отандық және шетелдік әдебиеттерге жасалған талдау Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйесінің антропогендік және климаттық факторлардың бірлескен әсеріне осал екенін көрсетеді. Соңғы онжылдықтарда қала аумағында урбанизация үдерістерінің қарқынды дамуы жер бедерінің табиғи құрылымын бұзып, техногендік морфо-жүйелердің қалыптасуына әкелді. Құрылыс, жол инфрақұрылымы мен инженерлік жүйелердің кеңеюі нәтижесінде табиғи дренаждық желілер өзгеріп, беткі және жерасты сулардың таралу сипаты бұзылды. Отандық зерттеулерде урбанизацияның геоморфологиялық салдарларына – жердің техногендік отыруы, үйінді және карьер шұңқырларының пайда болуы, топырақ-грунт қабаттарының тығыздалуы және эрозиялық процестердің күшеюі сияқты факторларға ерекше назар аударылады. Қазақстандық ғалымдардың еңбектерінде соңғы жиырма жыл ішінде Түркістан облысындағы урбандалған аумақтардың көлемі 35%-дан астам ұлғайғаны, бұл табиғи ландшафттардың деградациясына және геоморфологиялық тұрақсыздықтың артуына алып келгені атап өтіледі. Көліктік және өндірістік шығарындылардың тұрақты өсуі де геологиялық ортаға қосымша жүктеме түсіреді. Егер 2005 жылы атмосфераға шығарылған зиянды заттардың көлемі 45 мың тоннаны құраса, 2020 жылы ол 73 мың тоннадан асып түсті. Бұл факторлар жердің беткі қабатының химиялық құрамына әсер етіп қана қоймай, топырақ-грунт жүйесінің физикалық қасиеттерін өзгертіп, су-физикалық тепе-теңдікті бұзады және урбанизацияланған аумақтардағы геоморфологиялық процестердің белсенділенуіне себепші болады [6].

Шетелдік зерттеулер антропогендік және климаттық факторлардың өзара байланысын ескере отырып, аридті аймақтардағы геологиялық және геоморфологиялық жүйелерді зерттеудің интеграцияланған тәсілін ерекше маңызды деп көрсетеді. Ғалымдар табиғи бедердің тұрақтылығы мен литогендік негіздің (жер қыртысының жоғарғы қабаттарының) өзгергіштігі климаттық үрдістермен тығыз байланысты екенін атап өтеді. Ғылыми деректеріне сәйкес, соңғы он жыл ішінде Орталық Азияда орташа жылдық температура 0,3–0,4°C-қа тұрақты өсіп келеді, ал 2000-жылдардан бері ылғалмен қамтамасыз етілу деңгейі 15–20%-ға төмендеген. Бұл аймақтық климаттық өзгерістер Түркістан өңірінің геоморфологиялық дамуына тікелей ықпал етеді. Қала маңындағы метеостанция мәліметтері бойынша, жазғы кезеңде орташа температура 1990-жылдардағы +34°C-тан 2020-жылдары +37,2°C-қа дейін көтерілген, ал жауын-шашын мөлшері жылына 220 мм-ден 180 мм-ге дейін азайған. Мұндай үрдіс аридизацияны күшейтіп, дефляция мен эрозиялық процестердің белсенділігін арттырады, нәтижесінде эолдық бедер түр-

лерінің үлесі ұлғайып келеді. Сонымен қатар, жерасты сулар деңгейінің төмендеуі мен беткі ағынның әлсіреуі морфогендік тепе-теңдікті бұзады, техногендік және табиғи шөгінділердің қайта жылжуына себеп болады. Мұндай геологиялық-геоморфологиялық трансформациялар Иран, Өзбекстан және Түрікменстанның урбандалған аймақтарында да тіркеліп отыр. Бұл елдердегі шетелдік зерттеулердің нәтижелері бойынша, аридті климат жағдайында температураның өсуі мен жауын-шашынның азаюы тек топырақ дегумификациясын ғана емес, сонымен бірге геоморфологиялық тұрақсыздықтың (жердің отыруы, шөгуге, карст процестері) үдеуін туындатады [7].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны Қазақстанның оңтүстік бөлігінде орналасқан, аридті климаттық жағдайларымен, урбандалудың жоғары деңгейімен және антропогендік жүктеменің артуымен сипатталатын Түркістан қаласының аумағындағы геологиялық және геоморфологиялық жүйелер. Зерттеу аймағының табиғи-геологиялық негізі неоген және төрттік кезең шөгінділерінен құралған, олар өз кезегінде дефляция, су эрозиясы және техногендік қайта түзілу процестеріне ұшырап отыр. Бұл факторлар бедердің тұрақсыздығын арттырып, литогендік қабаттар мен топырақ-жер жамылғысының морфологиялық құрылымына кешенді әсер етеді. Зерттеу нысанын тандауда урбанизациялық даму аймақтары мен табиғи геоморфологиялық элементтер (аллювийлік жазықтар, пролювийлік шлейфтер, ежелгі өзен арналары) қамтылды. Дала жұмыстарында морфогенетикалық ерекшеліктер мен техногендік қайта түзілу аймақтарын ескере отырып, әртүрлі геоморфологиялық позициялардан сынамалар алынды. Бұл тәсіл Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық құрылымындағы антропогендік және климаттық факторлардың әсерін кеңістіктік тұрғыдан кешенді бағалауға мүмкіндік берді [8].

Топырақтың жай-күйін талдау үшін әдістер кешені қолданылды. Геоэкологиялық талдау топырақ жамылғысын 1:25 000 масштабтағы топографиялық және тақырыптық карталармен, сондай-ақ спутниктік суреттермен салыстыру жолымен жүзеге асырылды, бұл тозу, тұздану аймақтарын және урбандалған учаскелерді бөліп көрсетуге мүмкіндік берді. Химиялық талдау мемлекеттік стандарттардың талаптарына сәйкес жүргізілді: МЕМСТ 17.4.4.02-2017 топырақ үлгілерін алу, МЕМСТ 26213-91 бойынша гумусты анықтау, МЕМСТ 17319-2019 бойынша ауыр металдардың құрамын анықтау (*Pb*, *Zn*, *Cu*, *Cd*), МЕМСТ 33850-2016 бойынша макроэлементтерді анықтау (*N*, *P*, *K*). Қосымша электр өткізгіштігі мен тұздану дәрежесі айқындалды, бұл аридті климат үшін маңызды. Талдауға орташа жылдық ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері, қарашірік құрамы және топырақтың тұздану дәрежесі сияқты көрсеткіштер енгізілді, бұл антропогендік және климаттық факторлардың әсерінен ұзақ мерзімді өзгерістерді қадағалауға мүмкіндік берді. Әдістеменің маңызды элементі халықаралық тәжірибені пайдалану болды [9, 10]. Салыстырмалы талдау Қазақстан және Өзбекстанның деградациялық процестердің жалпы заңдылықтарын анықтауға және Түркістанда байқалатын үрдістерді халықаралық аналогтармен байланыстыруға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері

Жүргізілген зерттеулер Түркістан қаласының топырақ жамылғысының жай-күйінде соңғы онжылдықтардың антропогендік әсерімен де, климаттық өзгерістерімен де байланысты бірқатар елеулі өзгерістерді анықтауға мүмкіндік берді. Қала аумағындағы топырақтың негізгі физика-химиялық қасиеттерін бағалау олардың құнарлық деңгейін, құрылымдық ерекшеліктерін және урбанизация жағдайында экологиялық тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік береді. Түркістан қаласы бойынша алынған орташа деректер төмендегі 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Түркістан қаласының топырақтарының физика-химиялық қасиеттері (орташа мәндер, 2023 ж.)

Table 1

Physico-chemical properties of soils of the city of Turkestan (average values, 2023)

Таблица 1

Физико-химические свойства почв. города Туркестан (средние значения, 2023 г.)

Зерттеу аймақтары	pH	Гумус, %	Тығыздық, г/см ³	Су өткізгіштік, мм/сағ
Тұрғын аймақтар	7,6	1,1	1,35	20
Өндірістік аймақтар	7,9	0,9	1,42	15
Рекреациялық аймақтар	7,4	1,2	1,30	28
Көлік тораптары	8,2	0,8	1,45	12

Кестеден көрініп тұрғандай, Түркістан қаласының топырақтары негізінен әлсіз сілтілі реакцияға (pH 7,4–8,2) ие. Гумус мөлшері төмен (0,8–1,2%) болып, бұл құнарлықтың жеткіліксіздігін көрсетеді. Топырақ тығыздығы өндірістік және көлік аймақтарында жоғары, ал су өткізгіштік деңгейі ең төменгі мәнге дейін түсіп отыр. Бұл жағдайлар урбанизация мен климаттық факторлардың топырақтың экологиялық тұрақтылығына теріс әсерін дәлелдейді.

Түркістан қаласының әртүрлі функционалдық аймақтарындағы топырақтың ауыр металдармен ластану деңгейі урбанизациялық қысымның басты көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Қорғасын (*Pb*), мырыш (*Zn*), мыс (*Cu*) және кадмий (*Cd*) секілді элементтердің мөлшерін бағалау топырақ сапасына және экожүйелік қауіпсіздікке әсерін анықтауға мүмкіндік береді. 2023 жылғы орташа көрсеткіштер 2-кестеде берілген.

Кестедегі мәліметтерге сүйенсек, көлік тораптары мен өндірістік аймақтарда ауыр металдардың мөлшері ең жоғары деңгейде байқалады. Қорғасын көрсеткіштері ШРК-дан 3–4 есе, мырыш – 2 есеге дейін асып түскен. Кадмий концентрациясы да тұрғындар денсаулығына қауіпті шектен жоғары. Бұл деректер қаланың индустриалдық және көліктік жүктемесі топырақ сапасына елеулі әсер ететінін дәлелдейді және экожүйелік тәуекелдерді төмендету үшін тұрақты мониторинг жүргізу қажеттігін көрсетеді.

Кесте 2

Түркістан қаласының топырақтарындағы ауыр металдардың мөлшері, мг/кг (2023 ж.)

Table 2

The content of heavy metals in the soils of Turkestan, mg/kg (2023)

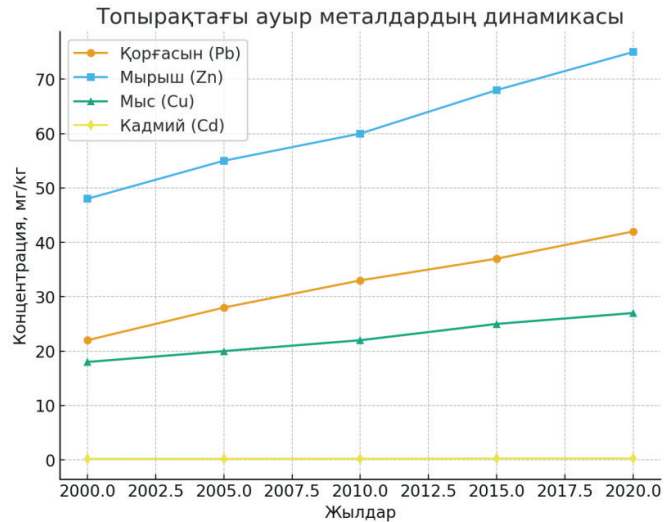
Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почвах города Туркестан, мг/кг (2023 г.)

Зона	Pb	Zn	Cu	Cd
Тұрғын аймақтар	28	80	28	0,5
Өндірістік аймақтар	46	150	58	1,2
Рекреациялық аймақтар	21	60	22	0,3
Көлік тораптары	74	135	64	1,5
ШПК (Қазақстан)	32	100	55	0,7

Химиялық құрамды талдау топырақтың жоғарғы қабаттарында (0–20 см) ауыр металдардың жиналуына тұрақты үрдіс көрсетті. Көлік магистральдарының жанындағы **Pb** және **Zn** шоғырлануы қарқынды урбанизация аймағынан алыс бақылау учаскелерімен салыстырғанда фондық мән-дерден 1,8–2,3 есе, **Cu** – 1,5 есе, ал **Cd** – 2 есе асады. Деректер көлік ағынының қарқындылығы мен топырақтың ауыр металдармен ластану дәрежесі арасындағы тікелей тәуелділікті көрсетеді. Сонымен қатар қышқылдылықтың өзгеруі байқалды: егер 2000 жылдардың басында егістік көкжиектегі рН орташа мәні 7,3–7,5 (әлсіз сілтілік реакция) болса, 2020 жылдары ол 6,8–7,0 дейін төмендеді, бұл органикалық қалдықтар мен өнеркәсіптік шығарындылардың жинақталуы салдарынан қышқылданудың біртіндеп үрдісі туралы куәландырады. Қаланың өндірістік аймақтары мен көлік желілері маңындағы топырақтарда ауыр металдардың жиналу үрдісі анық байқалады. Бұл фактор қалалық экожүйенің экологиялық тұрақтылығына елеулі қауіп төндіреді (сурет 1).

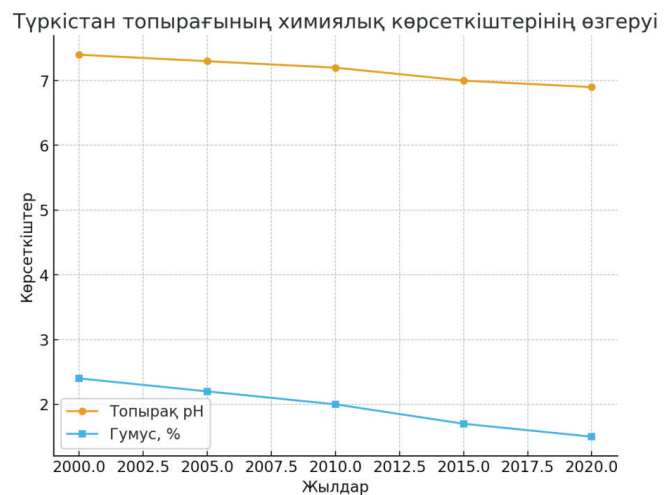
2000 жылдан 2024 жылға дейін **Pb** мөлшері шамамен 22 мг/кг-дан 42 мг/кг-ға дейін артқан, **Zn** – 48-ден 75 мг/кг-ға, **Cu** – 18-ден 27 мг/кг-ға өскен. **Cd** көрсеткіші де 0,18 мг/кг-дан 0,28 мг/кг-ға дейін көтерілген. Бұл үрдіс транспорттық ағындардың артуымен және өнеркәсіптік шығарындылармен тікелей байланысты. Гумустық пішінге урбанизацияның әсері органикалық көкжиектің тозуынан және гумустың азаюынан көрінеді. 2000 жылдан 2024 жылға дейінгі кезеңде қаланың орталық бөлігіндегі топырақта қарашірік шоғырлануы 2,2–2,5%-дан 1,4–1,6%-ға дейін төмендеді, ал шеткері аумақтарда көрсеткіштер 1,8–2,0% деңгейінде сақталды. Бұл неғұрлым қарқынды өзгерістер құрылыстың тығыздығы мен көлік жүктемесі жоғары аудандарда болып отырғанын, онда топырақтың тығыздалуы мен органикалық қалдықтардың түсуі қысқартатынын растайды. Түркістанның топырақ жамылғысында тозу үдерістерінің бірі сортаңдану болып табылады. Топырақ ерітіндісінің орташа электр өткізгіштігі соңғы жиырма жылда 1,6 есеге жуық өскені анықталды, бұл минералданудың өскенін көрсетеді. Тұзданудың ең жоғары дәрежесі рельефтің төмен элементте-



Сурет 1. Түркістан топырағындағы ауыр металдар динамика (Pb, Zn, Cu, Cd).

Figure 1. Of heavy metals in the soil of Turkestan dynamics (Pb, Zn, Cu, Cd).

Рис. 1. Динамика содержания тяжелых металлов в почве Туркестана (Pb, Zn, Cu, Cd).



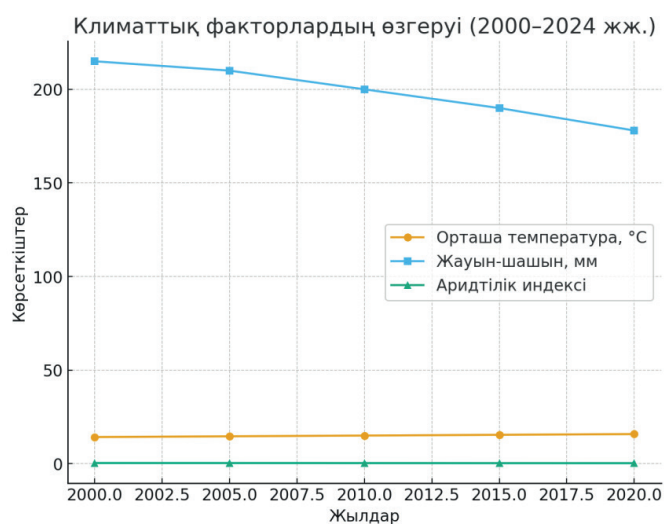
Сурет 2. Түркістан топырағының рН және гумус динамикасы (2000–2024 жж.).

Figure 2. pH and humus of Turkestan soil dynamics (2000–2024).

Рис. 2. Динамика рН и гумуса почвы Туркестана (2000–2024 гг.).

рінде және хлоридтер мен сульфаттардың шоғырлануы 0,25–0,35%-ға жететін тұрақсыз дренаждық аудандарда тіркеледі. Сонымен қатар, органикалық заттар қорының қысқаруынан және топырақ құрылымының нашарлауынан көрінетін дегумификация процестері байқалады, бұл оның эрозияға ұшырауын күшейтеді. Соңғы екі онжылдықта Түркістан қаласының топырақ жамылғысында гумустың төмендеуі мен реакция ортасының өзгеруі байқалады. Бұл урбанизациялық қысым мен климаттық факторлардың өзара әсерінен туындаған деградациялық үрдістердің бір көрінісі болып табылады (сурет 2).

2-ші суреттен көрініп тұрғандай, гумус мөлшері 2000 жылы орта есеппен 2,4% болса, 2024 жылға қарай 1,5%-ға дейін төмендеген. Топырақтың рН көрсеткіші 7,4-тен 6,9-ға дейін азайып, әлсіз сілтілі реакциядан бейтарапқа ауысқан. Бұл өзгерістер органикалық қалдықтардың азаюымен және антропогендік факторлардың күшеюімен байланысты. Климаттық факторларды салыстырмалы талдау топырақ жамылғысының жай-күйіне аридизацияның елеулі ықпалын растады. Түркістанда соңғы екі онжылдықта орташа жылдық ауа температурасы 14,2°C-тан (2000–2005 жж.) 15,8°C-қа (2020–2024 жж.) дейін өсті, ал жауын-шашынның орташа мөлшері 215 мм-ден 178 мм-ге дейін қысқарды. Тиісінше, аридтілік индексі (жауын-шашынның әлеуетті булануға қатынасы) 0,32-ден 0,26-ға дейін төмендеді, бұл климаттық құрғақтықтың өсуін және топырақтағы ылғал тапшылығының күшеюін көрсетеді. Бұл өзгерістер тұздану және дегумификация процестерінің жедел дамуына себепші болады, сондай-ақ топырақ жамылғысының қалпына келтіру әлеуетін шектейді. Климаттық жағдайлар топырақ жүйесінің деградациясына тікелей әсер етеді. Түркістан қаласында соңғы 20 жылда климаттың аридизация үрдісі айқын байқалады (сурет 3).



Сурет 3. Түркістан қаласының климаттық факторларының өзгеруі (2000–2024 жж.).

Рис. 3. Изменение факторов климата города Туркестана (2000–2024 гг.).

Figure 3. Climate of the city of Turkestan change of factors (2000–2024).

3-ші сурет бойынша орташа жылдық температура 14,2°C-тан 15,8°C-қа дейін көтерілген, ал жауын-шашын мөлшері 215 мм-ден 178 мм-ге дейін қысқарған. Аридтілік индексі 0,32-ден 0,26-ға төмендеп, аймақтағы құрғақтықтың күшейгенін дәлелдейді. Бұл факторлар топырақтағы гумустың азаюын, тұзданудың күшеюін және дегумификация үрдістерін жеделдетеді. Деградациялық процестерді картаға түсіру топырақ өзгерістерінің кеңістіктік бөлінуін көзбен шолуға мүмкіндік берді. Салынған схемалар ең тозған топырақтың қаланың орталық, темір жол торабының бөлігінде және негізгі көлік магистральдарының бойында орналасқанын көрсетті, онда ауыр металдардың

жоғары шоғырлануы, топырақ профилінің тығыздалуы және гумустың төмен құрамы байқалады. Ауылшаруашылығы кеңінен жайылған учаскелерде негізгі проблемалар тұздану және ылғалдың жоғалуы болып калуда, ал ауыр металдармен ластану көрсеткіштері салыстырмалы түрде төмен.

Талқылаулар

Зерттеу нәтижелері Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйелерінде антропогендік және климаттық факторлардың айқын ықпал ететінін көрсетті. Қала аумағындағы қарқынды урбанизация мен техногендік жүктемелер жер бедерінің табиғи тепе-теңдігін бұзып, литогендік негіздің қайта құрылуына және геоморфологиялық процестердің жеделдеуіне алып келуде. Нәтижесінде қаланың орталық және өндірістік аймақтарында топырақ-жер қабатының құрылымдық беріктігі төмендеп, физикалық тығыздалу байқалады (орташа 1,35–1,45 г/см³), бұл техногендік шөгінділердің жиналуымен және жер бетінің су өткізгіштігінің төмендеуімен түсіндіріледі. Морфологиялық талдау Түркістанның урбандалған бөліктерінде аккумулятивтік және техногендік шөгінділердің үстем екенін көрсетті. Қала орталығы мен өндірістік аймақтар маңында ауыр металдар – қорғасын, мырыш және мыс - жиналу аймақтары анықталды, бұл геохимиялық фонның өзгеруіне және техногендік ластану шоғырларының қалыптасуына әкелген. Бұл элементтердің жиналуы бедердің микродепрессиялық формаларында, әсіресе көлік магистральдары бойында және өндіріс қалдықтары төгілетін аймақтарда шоғырланған. Мұндай геохимиялық аномалиялар топырақ жамылғысының экологиялық тұрақтылығын төмендетіп қана қоймай, өсімдік жамылғысының деградациясын және беткі қабаттың дефляциялық тұрақсыздығын арттырады. Климаттық факторлар да геоморфологиялық процестерге елеулі әсер етеді. Жауын-шашын мөлшерінің азаюы мен орташа температураның көтерілуі (соңғы жылдары +1,2-1,4°C өсім) топырақ қабатындағы ылғал тапшылығын күшейтіп, аридизация мен дефляциялық эрозияны белсенді етеді. Бұл өз кезегінде құмды және шанды материалдардың қайта орын ауыстыруына, беткі бедердің тегістелуіне және микроойыстардың кеңеюіне әкеледі.

Картографиялық талдау нәтижелері бойынша, деградацияланған және геоморфологиялық тұрғыдан тұрақсыз аймақтар көбіне көлік магистральдары бойында, өндіріс орындары мен құрылыс белсенді жүретін учаскелерде орналасқан. Ал қаланың шеткі бөліктерінде тұздану, сорлану және ылғал тапшылығынан туындайтын геохимиялық-морфологиялық өзгерістер басым. Осылайша, Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық жүйесінде екі өзара байланысты деградациялық үрдіс қатар жүруде: антропогендік-техногендік қайта түзілу – урбанизация, көлік және өндіріс әсерінен; табиғи-климаттық аридизация – жоғары температура, төмен ылғалдылық және дефляция нәтижесінде. Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық кешені климаттық және антропогендік өзгерістерге айтарлықтай сезімтал екенін дәлелдеді. Бұл жағдай бедер мен литогендік қабаттың мониторингін жүйелі түрде жүргізу-

ді, рекультивациялық шараларды және инженерлік-геологиялық тұрақтандыру тәсілдерін енгізуді талап етеді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері Түркістан қаласы аумағында геологиялық және геоморфологиялық құрылымдардың климаттық және антропогендік факторлардың әсерінен айтарлықтай трансформацияға ұшырап отырғанын көрсетті. Геоморфологиялық талдау жер бедерінің тегістелуі, делювиальды және эолдық үрдістердің күшеюі, сондай-ақ техногендік денудацияның артуы сияқты құбылыстардың кең таралғанын анықтады. Геологиялық тұрғыда топырақ пен шөгінді қабаттардың тығыздалуы, құрылымдық жарықтардың белсенуі және литогендік құрамның өзгеруі байқалды. Бұл өзгерістер қаланың гидрогеологиялық режиміне, жерасты суларының айналымына және беткі эрозиялық процестердің қарқындылығына тікелей әсер етуде. Климаттың аридизациясы мен температура-

ның жоғарылауы морфогенетикалық процестердің сипатын өзгертіп, дефляция мен карбонаттану аймақтарын кеңейтті. Урбанизация және инженерлік құрылыстардың қарқынды дамуы табиғи геоморфологиялық тепе-теңдікті бұзып, антропогендік бедер формаларының (жасанды үйінділер, карьерлер, жолдық террасалар) қалыптасуына әкелді. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша Түркістан өңірінде геологиялық-геоморфологиялық өзгерістердің кешенді сипаты анықталып, олардың климаттық факторлармен өзара байланысы ғылыми негізделді. Бұл нәтижелер аймақтың экологиялық қауіпсіздігін бағалауда, жер ресурстарын жоспарлауда және геоэкологиялық мониторинг жүйесін жетілдіруде маңызды ақпараттық база ретінде қолданылуы мүмкін. Алынған деректер аймақтың геоэкологиялық тұрақтылығын арттыру, инженерлік инфрақұрылымды экологиялық қауіпсіз жоспарлау және жер бедерін қорғау стратегияларын әзірлеуге негіз болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Орталық Азиядағы урбандалу және топырақтың ластануы: Қазақстан мысалы / Жолдасова И. [және т. б.] // Қоршаған ортаны басқару журналы. 2022. № 313. Б. 114–129 (ағылшын тілінде)
2. Ахмедсафин У.М. Оңтүстік Қазақстанның гидрологиялық жағдайлары: Алматы: Ғылым, 1972. 250 б. (орыс тілінде)
3. Бейсенова А.С., Жангисина А.Ж., Мусина Л.А. Қазақстанның экологиялық мәселелері: Алматы: Қазақ университеті, 2019. 320 б. (орыс тілінде)
4. Климаттық шолу: Оңтүстік Қазақстан / «Қазгидромет» РМК: Алматы, 2024. 35 б. (қазақ тілінде)
5. Аллоуэй Б.Ж. Топырақтағы ауыр металдар: іздік металдар мен металлоидтардың топырақтағы биожетімділігі // Спрингер. 2013. 614 б. (ағылшын тілінде)
6. Краул П.Ж. Қалалық топырақтар: қолданбалар және тәжірибелер // Уайли, 1999. 384 б. (ағылшын тілінде)
7. Топырақ бойынша жаһандық серіктестік: жылдық есеп / БҰҰ Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO): Рим, 2020. 50 б. (ағылшын тілінде)
8. Лаппо Г.М. Урбандалу және қалалардың экологиясы: Мәскеу: Академкнига, 2015. 276 б. (орыс тілінде)
9. Климаттың өзгеруі және Орталық Азия: қалалық дамудың сын-қатерлері: есеп / Дүниежүзілік банк: Вашингтон, 2022. 60 б. (ағылшын тілінде)
10. Оңтүстік Қазақстандағы өнеркәсіптік аймақтардың топырақтарында ауыр металдардың жиналуы / Қалдыбаев А. [және т. б.] // Қоршаған ортаны бақылау және бағалау. 2019. № 11. Б. 687 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Urbanization and soil pollution in Central Asia: Case study of Kazakhstan / Zholdasova I. [et al.] // Journal of Environmental Management. 2022. No. 313. 114–129 pp. (in English)
2. Akhmedsafin U.M. Gidrogeologicheskie usloviya Yuzhnogo Kazakhstana [Hydrogeological conditions of Southern Kazakhstan]. Almaty: Nauka, 1972. 250 p. (in Russian)
3. Beisenova A.S., Zhangissina A.Zh., Musina L.A. Ekologicheskie problemy Kazakhstana [Environmental problems of Kazakhstan]. Almaty: Kazakhskii universitet, 2019. 320 p. (in Russian)
4. Klimaticheskii obzor Yuzhnogo Kazakhstana [Climate review of Southern Kazakhstan], RGP «Kazgidromet» [Kazhydromet]. Almaty, 2024. 35 p. (in Russian)
5. Alloway B.J. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability // Springer. 2013. 614 p. (in English)
6. Craul P.J. Urban soils: Applications and practices // Wiley. 1999. 384 p. (in English)
7. Global Soil Partnership: Annual Report / Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, 2020. 50 p. (in English)
8. Lappo G.M. Urbanizatsiya i ekologiya gorodov [Urbanization and ecology of cities]. Moscow: Akademkniga, 2015. 276 p. (in Russian)

9. *Climate Change and Central Asia: Challenges for Urban Development: Report / World Bank: Washington, 2022. 60 p. (in English)*
10. *Heavy metal accumulation in soils of industrial areas in Southern Kazakhstan / Kaldybayev A. [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. 2019. No. 11. 687 p. (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Урбанизация и загрязнение почв в Центральной Азии: пример Казахстана / Жолдасова И. [и др.] // Журнал управления окружающей средой. 2022. № 313. С. 114–129 (на английском языке)*
2. *Ахмедсафин У.М. Гидрогеологические условия Южного Казахстана: Алматы: Наука, 1972. 250 с. (на русском языке)*
3. *Бейсенова А.С., Жангисина А.Ж., Мусина Л.А. Экологические проблемы Казахстана: Алматы: Казахский университет, 2019. 320 с. (на русском языке)*
4. *Климатический обзор Южного Казахстана / РГП «Казгидромет»: Алматы, 2024. 35 с. (на русском языке)*
5. *Аллоуэй Б.Ж. Тяжелые металлы в почвах: микроэлементы и металлоиды в почвах и их биодоступность // Спрингер. 2013. С. 614 (на английском языке)*
6. *Краул П.Ж. Городские почвы: применение и практика // Уайли. 1999. С. 384 (на английском языке)*
7. *Глобальное партнерство по почвам: годовой отчет / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО): Рим, 2020. 50 с. (на английском языке).*
8. *Лаппо Г.М. Урбанизация и экология городов: М.: Академкнига, 2015. 276 с. (на русском языке)*
9. *Изменение климата и Центральная Азия: вызовы для городского развития: отчет / Всемирный банк: Вашингтон, 2022. 60 с. (на английском языке)*
10. *Накопление тяжелых металлов в почвах промышленных районов Южного Казахстана / Калдыбаев А. [и др.] // Мониторинг и оценка окружающей среды. 2019. № 11. С. 687 (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Әбдімүтәліп Н., доцент, Ph.D, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің профессор м.а. (Түркістан қ., Қазақстан), nurlibek.abdimutalip@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-1173-4344>

Құралбай Ә., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Экология және химия кафедрасының магистранты (Түркістан қ., Қазақстан), aliya.kuralbay@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0007-9253-3777>

Тойчибекова Ф., доцент, Ph.D, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан), gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3575-3021>

Еримова А., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Биология кафедрасының аға оқытушысы (Түркістан қ., Қазақстан), Aknur.erimova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1989-8194>

Information about the authors:

Abdimutalip N., Associate Professor, Ph.D, Acting professor at Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Kuralbai A., Master's student at the Department of Ecology and Chemistry of the Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Toychibekova G., Associate Professor, Ph.D, Senior lecturer at the Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Yerimova A., Senior Lecturer of the Department of Biology, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Абдимуталип Н., доцент, Ph.D, и.о. профессора Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Құралбай А., магистрант кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Тойчибекова Г., доцент, Ph.D, ст. преподаватель Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Еримова А., ст. преподаватель кафедры биологии Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)