

Жасыл технологияда фиторемедиацияны қолдану әдістерін зерттеу

Лайла Калимолдина*, Жанат Шаихова, Гулбарам Султангазиева, Гүлжан Жақсыбаева, Шинар Аскарова

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;
kalimoldinal@gmail.com, zh.shaikhova1965@gmail.com, gul-2012-61@mail.ru, zhaksybaeva.gulz@mail.ru, askarova-1977@list.ru
 *Корреспонденция: kalimoldinal@gmail.com

Андатпа. Қоршаған ортаның ластануы жаһандық экологиялық қауіп сипатына ие болды, қазіргі жағдай үкіметтің, ғалымдардың, жұртшылықтың алаңдаушылығын тудырды және экономикалық үрдістер барысында ластаушы заттарға айналған элементтердің табиғаттағы айналымының қарапайым және жеткілікті тиімді технологияларын жасау қажеттілігін туындатты.

Бүгінгі күнге дейін белгілі қоршаған ортаны тазарту тұжырымдамасына ең сәйкес келетін әдіс фиторемедиация болып табылады, оның негізінде өсімдіктердің субстраттан радиоактивті немесе ластаушы элементтерді алудың гипераккумулятивті қабілеті жатыр. Осы ғылыми-зерттеу жұмысы фиторемедиация технологиясының негізгі элементтерін әзірлеуге бағытталған.

Фиторемедиацияға қатысатын процестер табиғи жағдайда жүретіндіктен, ластанған аймақтар адамның араласуынсыз өсімдіктермен өзін-өзі тазартуға бейім және ластану деңгейі төмен аудандарда қолдануға жарамды.

Жұмыстың негізгі мақсаты – ауыр металдармен ластанған топырақтарды фитоиндикациялау және фиторемедиациялау мүмкіндігін зерттеу, сонымен қатар фиторемедиация әдісін қолдана отырып, табиғи экологиялық тазартқыш өсімдіктерді зерттеу.

Зерттеу барысында қазіргі заманғы ғылыми-техникалық, нормативтік, әдістемелік әдебиеттерге аналитикалық шолу жүргізілді, зерттеу бағдарламасы әзірленді, тиісті әдістемелер таңдалды, зертханалық және далалық жағдайларда тәжірибелер жүргізілді. Зертханалық және далалық тәжірибелердің нәтижелері талданды. Бірнеше далалық сынақтар Алматы қаласы және Алматы облысының ауа ортасын тазарту үшін Павловния өсімдігін пайдалану мүмкіндігін растады. Зерттеу нәтижелері тез өсетін Павловния ағашының көмегімен ауыр металдармен (кадмий, қорғасын, мышьяк және сурьма) ластанған жерлерде топырақ қабатын қалпына келтіруге болатынын көрсетеді.

Фиторемедиация әдісінің барлық артықшылықтары мен шектеулері зерттеліп, эксперименталды түрде көрсетілді. Зерттеу нәтижелері ластанған топырақтағы қоршаған ортаға әсерді азайту үшін фиторемедиация әдісінің қолайлылығын анықтайды.

Түйін сөздер: фиторемедиация технологиясы; қоршаған орта; Павловния; ауыр металдар; топырақ.

Дәйексөз: Калимолдина, Л., Шаихова, Ж., Султангазиева, Г., Жақсыбаева, Г., Аскарова, Ш. (2026). Жасыл технологияда фиторемедиацияны қолдану әдістерін зерттеу. Journal of Ecology and Sustainability, 154(1), 93-108. <https://doi.org/10.32523/pz31qd44>

Академиялық редактор:
А. Зандыбай

Редакцияға түсті: 02.12.2025
Түзетілді: 13.03.2026
Қабылданды: 24.03.2026
Басылымға шықты: 31.03.2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

1. Кіріспе

Су және жел эрозиясы процестеріне байланысты қорғасын-мырыш шлактарын сақтау орнына Алматы қаласы мен іргелес аудандарының топырақтарында қорғасын және кадмий иондарының мөлшері шекті рұқсат етілген концентрациядан (ШРК) $453,3 \pm 34,7$ есеге дейін асатыны анықталды. Қазақстанның оңтүстігіндегі құрғақ климат жағдайында ауыр металл иондарының ең көп концентрациясы эфемероидты өсімдіктерінің көптеген түрлері үшін тамыр қабаты болып табылатын топырақтың жоғарғы горизонттарында жинақталатыны анықталды. Топырақтың ауыр металдармен ластану деңгейінің ең фитоиндикативті көрсеткіші өсімдіктер қауымдастығының фитоценодикалық құрамы және топырақтың өсімдіктермен проективті жабыны болып табылады. Топырақтың ауыр металдармен ластануының әртүрлі аймақтарының өсімдіктер қауымдастығы түрлердің саны бойынша да, топтардың фитоценодикалық құрамы бойынша да тең емес, ал уытты градиенттің өсу бағытында көпжылдық өсімдік түрлері басым эрозиофильді және рудералды түрлердің үлесі өсуде. Сонымен қатар, ластанудың өсу градиентінде мезофиттердің үлесінің төмендеуі және өсімдіктердің ксерофиттік экологиялық топтарының көбеюі байқалады. Ластану аймағының тамырлы өсімдіктер қауымдастығының сирек және тұрақты түрлік құрамы механикалық, өсу кедергілеріне және өсімдік ағзасының жасушааралық кеңістіктегі суда ерімейтін тұзды шөгінділер түрінде ауыр металл иондарының артық мөлшерін бейтараптандыру қабілетіне байланысты осы түрлерде белгілі бір тұрақтылық механизмдерінің болуымен негізделгені анықталды.

Топыраққа автомобиль жолдарының, өнеркәсіптік кәсіпорындардың шаңымен, ағынды сулардың жауын-шашынмен, тыңайтқыштармен, ауыр металдардың қосылыстары физика-химиялық және биологиялық факторлардың әсерінен өзгерістерге ұшырайды. Еру жылдамдығы мен дәрежесі қосылыстардың қасиеттеріне де, топырақта жүретін процестерге де байланысты болады. Нәтижесінде топырақ ерітіндісіндегі металдардың мөлшері табиғи топырақ органикалық және минералды компоненттерімен термодинамикалық тепе-теңдікке жақындайды.

Өсімдіктердің химиялық элементтерді сіңіруі бұл әртүрлі түрлердегі жасуша мембраналарының құрылымы мен химиялық құрамына байланысты организм айтарлықтай реттейтін процесс. Пассивті диффузия сіңірілген минералды элементтердің бүкіл массасының тек 2-3% құрайды.

Алайда, өсімдіктің элементтерді сіңіруді реттеуі минералдардың төмен концентрациясы бар тендестірілген ерітінділерден қоректену кезінде ғана орын алады. Концентрацияның жоғарылауымен реттеу процестері негізінен тежеледі, нәтижесінде өсімдік ағзасында элементтердің едәуір жинақталуы жүреді.

Ауыр металдардың аз мөлшері топырақтың буферлік қасиеттеріне байланысты өсімдіктерге жағымсыз әсер етпейді, бұл токсиканттардың инактивациясына әкеледі. Дегенмен, топырақтың қорғаныс мүмкіндіктері шексіз емес. Ластану деңгейі жоғарылаған сайын инактивация толық болмайды және зиянды иондар ағыны тамырларға жинақтала бастайды. Жоғарыда аталған артық ауыр металдан қорғау механизмдерінен басқа, өсімдіктерде жер үсті органдарының биомассасын азайту арқылы ластану жағдайында тамыр жүйесінің қалыптасуы күшейеді. Ластанған топырақтардан тамырлар арқылы өсімдікке ауыр металдардың түсуінен басқа тағы бір жол бар – металдарды газ-шаң шығарындылары мен аэрозольдерден сіңіру. Құрамында металдар бар бөлшектер жауын-шашын мен желмен жойылады. Шоғырланған бөлшектердің белгілі бір бөлігі тіндерге енеді.

Өсімдіктердегі ауыр металдардың тербелістерінің кең ауқымы геохимиялық ауытқулардың болуы, техногендік әсер ету дәрежесі, маусымдық ауытқулар, топырақ қасиеттері, генотиптің бір немесе басқа элементті жинақтау қабілеті сияқты әртүрлі факторлардың әсерінен болады. Дегенмен, ластанбаған аймақтардағы өсімдіктердегі металдардың табиғи деңгейі айтарлықтай тұрақты болып көрінеді және белгілі бір

концентрация аралығында болады. Өсімдік құрамында ауыр металдардың жинақталу процестерін зерттеу, оның элементтік құрамын бағалауға мүмкіндік беретін өзекті ғылыми міндет болып табылады. Өсімдіктердің әртүрлі түрлерінің сезімталдығы және индикаторлық қасиеттері, сондай-ақ өсімдіктердің элементтік құрамына сәйкес қоршаған орта жағдайының өзгеруіне болжам жасау маңызды.

Қазіргі уақытта өсімдіктердің ең жаңа түрлерін – гипераккумуляторларды іздеу, сондай-ақ оларды нақты мәселелерді шешу үшін таңдау жүргізілуде. Фиторемедиация технологиялары қауіпті ластаушы заттармен ластанған ортаны тазарту үшін өсімдіктерді пайдаланады. Бұл процесс топырақ пен судан ауыр металдарды, пестицидтерді және басқа да зиянды заттардан арылтуға тиімді болуы мүмкін. Фиторемедиация қоршаған ортаның ластануымен күресудің экологиялық таза және тұрақты әдісін ұсынады, бірақ жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін мұқият жоспарлау мен іске асыруды қажет етеді (Minyuk et al., 2008). Ол «жасыл өсімдіктерді және онымен байланысты микроорганизмдерді пайдалану, сонымен қатар топырақты құнарландыру және қоршаған ортадағы улы заттарды жою немесе залалсыздандыру үшін агрономиялық әдістер» ретінде анықталады (Kireeva et al., 2011). Бұл термин грек тіліндегі phyto (өсімдік) мен латын тіліндегі medicium (тепе-теңдікті қалпына келтіру) сөздерінің қоспасы. Осы технологияны зерттеу және қолдану белсенді дамып келеді. Фиторемедиация технологиясы тиімді болғанымен, ластанған кеңістікті қалпына келтіру дәрежесінің маңыздылығы әдебиеттерде толық көрсетілмеген. Дереккөздерде топырақтағы ауыр металдарға (мырыш, қорғасын, мыс, мышьяк) қатысты сәндік және мәдени өсімдіктердің фиторемедиациялық қабілеті анықталған. Ауыл шаруашылығы мақсатындағы топырақтардағы ауыр металдардың концентрациясын төмендету үшін гипераккумулятор өсімдіктерін пайдалану бойынша ұсыныстар талданған (Demin et al., 2022; Dushenkov et al., 1999; McCutcheon et al., 1995). Қазіргі заманғы мәліметтерге сәйкес, прототиптерден зерттеу үшін алынған барлық элементтердің мазмұны Кларк мәндеріне жақын, бірақ іс жүзінде фоннан аспайды (Kamnev et al., 2000; Tica et al., 2011). Топырақты ластайтын басым химиялық заттар – бензин(а)пирен, күкіртсутек, формальдегид, мырыш, нитраттар, қорғасын, кадмий. Сонымен, бұл әдіс – өсімдіктердің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, ақаба суларды, топырақты және атмосфералық ауаны тазарту әдістерінің кешені және ластанған жерлерді тиімді қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Жалпы биоремедиация әдісінің бағыттарының бірі. Фиторемедиация принциптері мыналар: ризофилтрация (өсімдіктердің тамыр жүйесі арқылы тіршілік үшін қажет еріген химиялық элементтері бар суды сіңіруі), фитоэкстракция (ауыр металдармен ластанған топырақты тазарту үшін жоғары биомассалы өсімдіктерді қолданудың ұтымды әдісі), фитоволатилизация (су мен ұшпа химиялық элементтердің (As, Se) өсімдік жапырақтарымен булануы), фитостабилизация (химиялық қосылыстарды аз қозғалмалы түрге және белсенді формаға ауыстыру, бұл ластанудың таралу қаупін азайтады), фитодеградация (өсімдіктердің органикалық бөлігінің метаболикалық процестер кезінде ыдырауы, органикалық заттар тамыр секрецияларының әсерінен ыдырайтын кезде) және фитостимуляция (дезактивация процестеріне қатысатын симбиотикалық микробтарды қолдану).

Бұл процестер ластанған ортаға кешенді түрде әсер етеді (кесте1).

Кесте 1. Табиғи қоршаған ортаны тазартатын өсімдіктер

Өсімдіктер атауы	Жылдық өсімі	3-жылдық ағаштың биіктігі	Үлкен ағаштың максималды биіктігі
Павловния	3-5 м	10,5-15,5м	15-20 м
Гибридті тал	1,5-4 м	7,5-12 м	15-25 м
Қара терек	2,5-3,5м	9-12 м	20-25 м

Дельта тәрізді терек	2,5-3,5м	9-12 м	20-30 м
Техас қызыл емені	2-2,5 м	7.5-9 м	15-20 м
Қызыл эвкалипт	2-2,5	6-9 м	10-15 м
Жылауық тал	1,5-2,5 м	4,5-9 м	15-20 м

Далада топырақтың рН деңгейін реттеуді немесе синтетикалық хелаттарды қолдануды қамтитын индукцияланған гипераккумуляция арқылы қорғасынның сіңуін де, қозғалысын да жақсартуға бағытталған зерттеулер жүргізілді. Жалпы, өсімдікте биомасса неғұрлым көп болса, соғұрлым көп металл жиналуы мүмкін, өйткені металдың сіңуі жалпы биомассаға байланысты (US Environmental Protection Agency, 2004).

"Жасыл өсімдіктерді" қолдана отырып, фиторемедиацияның ластанған ортада тепе-теңдікті қалпына келтірудің артықшылықтары бар. Бұл жаңа, арзан технология және эстетикалық, жасыл өсімдіктердің тіндеріндегі қоршаған ортадан әртүрлі элементтер мен қосылыстарды сіңірудің қабілетін пайдаланады. Фиторемедиация технологиясы ластаушы заттардың кең ауқымына, соның ішінде металдар мен радионуклидтерге, сондай-ақ хлорланған еріткіштер, полициклді ароматты көмірсутектер, пестицидтер, жарылғыш заттар және беттік белсенді заттар сияқты органикалық қосылыстарға қолданылады. Дегенмен, фиторемедиация технологиясы әлі де дамудың бастапқы сатысында және оны толық көлемде қолдану әлі де жеткіліксіз. Барлық жаңа технологиялар сияқты, мұқият әрекет ету маңызды. Табиғи гипераккумуляторлардың барлық түрлері болғандықтан, тиімді фиторемедиаторларды таңдау мақсатында осы технологияны басқа түрлерге енгізу немесе табиғи гипераккумуляторлардың биомассасын арттыру үшін генетикалық модификацияны қолдануға болады. Зиянды табиғи ортада тепе-теңдікті қалпына келтіру үшін фиторемедиацияны қолданудың артықшылықтары шығындардан әлдеқайда көп сияқты. (Clemens et al., 2002). Бұл артықшылықтар қаншалықты кең болса да, биоремедиация үшін өсімдіктерді пайдаланудың ықтимал шығындарын елемеуге болмайды. Фиторемедиацияға қатысты кейбір кемшіліктерге оның өсімдіктердің көптеген түрлерін өсіруді шектейтін климаттық шектеулер, сондай-ақ белгісіз ұзақ мерзімді экологиялық шығындар жатады (United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2004).

Сонымен, бұл технологияның ең үлкен артықшылығы – ол өсімдіктерге тән агрономиялық артықшылықтарды пайдаланады. Бұл артықшылықтарға жоғары биомасса, тығыз тамыр жүйесі жатады, олар экожүйені тұрақтандырады, ластаушы заттардың шайылу арқылы таралуын болдырмайды, қолайсыз қоршаған орта жағдайлары мен тұраралық бәсекелестікке төтеп беру қабілетін қамтамасыз етеді (Macek et al., 2004).

Фиторемедиацияның негізгі қолданылуы аз ластанған топырақтар мен су объектілері үшін қолданылады. Топырақты дезинфекциялауға қабілетті өсімдіктер топырақ бөлшектерінен ластаушы заттарды тамырымен сіңіреді, ластаушы заттарды олардың тамыр тіндерімен физикалық немесе химиялық байланыстырады (Garbisu, 2002).

Фиторемедиаторлардың тағы бір моделі трансгенді ағаштардың әртүрлі сорттарын қамтиды. Ағаштар ауыр металдарды тазарту үшін өте қолайлы, өйткені олардың үлкен биомассасының арқасында олар ластаушы заттардың жоғары концентрациясына төтеп бере алады. Сонымен қатар, олар эрозияны болдырмайды және ластаушы заттардың көпжылдық болуына байланысты таралуын азайтады (E.R.R.L. Johnson et al., 2001). Осы уақытқа дейінгі ғалымдар зерттеулері қалаларды көгалдандыру үшін қолданылатын сәндік өсімдіктердің әртүрлі түрлерінің қорғасынға қатысты жинақтау қабілетінің айырмашылықтарын зерттеді. Бұл түрлер металдардың шайылуы мен оларды азайту үшін фитостабилизациясында да маңызды рөл атқарады. Бұл типтік өсімдіктердің тығыз тамыр жүйесі бар, Pb, Cd, Zn, As, Cu және Ni сияқты ластаушы заттарды фитостабилизациялауда және жоюда тиімді болуы мүмкін (Roongtanakiat et al., 2010). Өсімдіктер ақырында биологиялық ыдырайды және ластаушы заттар қайтадан топырақ жүйесіне енеді (S. Abdulla, 2002). Гидропоникалық сынақтар Pb

жинақтайтын өсімдік түрлерін және төзімділік деңгейлерін анықтау үшін пайдалы болуы мүмкін өсімдіктерде транслокация 30%-дан аз (Wu, Hsu et al., 1999).

2. Материалдар мен әдістер

Фиторемедиация – бұл өсімдіктердің қоршаған ортадағы элементтер мен қосылыстарды жинақтау, сондай-ақ әртүрлі қосылыстардан токсиндерді жою қабілетін пайдаланатын экологиялық қалпына келтірудің тиімді әдісі. Концентрация әсері гипераккумуляторлар деп аталатын белгілі бір өсімдіктердің химиялық заттарды биоаккумуляциялау қабілетінің нәтижесінде пайда болады. Фиторемедиациялық әдіспен ауыр металдарды залалсыздандыру мүмкін болмаса да, органикалық ластаушы заттарды жою әсері басқа әдістерден ерекшеленеді (Bieby Voijant Tangahu et al., 2011; Vassilev, 2002). Фиторемедиация әдістерін қолдана отырып, табиғи ортаны тазартатын өсімдіктерді зерттеу келесі кезеңдерді қамтиды. Зертханалық зерттеулер үшін 2025 жылдың сәуірінде топырақ үлгілері таңдалды. Топырақ сынамалары қалалық аймақ пен жақын аудандардан алынды. Топырақ сынамаларын алу МЕМСТ 17.4.4.02-2017 сәйкес конверт әдісімен жүргізілді. Зертханалық жағдайда қолданар алдында топырақтарға ауыр металдардың сапалық көрсеткіштері мен иондарының құрамын анықтау мақсатында талдау жасалды. Зерттеу барысында өсімдіктердің кейбіреулері әртүрлі дәрежеде топырақтан ауыр металдарды жинауға қабілетті екендігі анықталды, сондықтан фиторемедиатор функцияларын орындай алады (Kalimoldina et al., 2021; Kalimoldina et al., 2022).

Зерттеу барысында химиялық ластаушы заттарға төзімділікті анықтау үшін Павловнианы таңдадық, химиялық заттармен өңдеу арқылы бақылаулар жүргіздік. Топырақ құрамындағы сульфат иондарын турбидиметриялық әдіспен анықтау бойынша тәжірибелер жүргізілді. Әдістің негізіне сүйене отырып, $T_d = T_c + V / V_k$, осы формула бойынша T_d – сульфат иондарының лайлылығын, T_c - лайлылық дәрежесін, V – сульфат иондарының көлемін анықтадық (Ancona et al., 2019). Топырақ үлгілері зерттелетін нүктелерден алынды, олар 25 см тереңдіктен жиналды. Топырақ үлгілеріндегі ауыр металдар мен микроэлементтердің мөлшері әдіспен бірге анықталды. Талдау топырақтағы ауыр металдарды анықтау бойынша әдістемелік нұсқауларға сәйкес жүргізілді. Топырақ ерітіндісінің лайлану мәні жоғарылаған сайын сульфат концентрациясы төмендейді, лайлану дәрежесі артады. Ерітіндінің лайлануы әртүрлі концентрацияларда өзгереді. Топырақты зерттеуге арналған сынамалар Алматы қаласының қала маңындағы аймағынан алынды. Ол үшін 1 шаршы метр жерге 30-35 см тереңдіктен топырақ алынды. Топырақ беткі, орта және төменгі қабаттардан алынып, толығымен араласады. Көлеңкеде кептіріліп, содан кейін химиялық әдіспен өңделді.

Зертхана жағдайында жұмыс ерітінділерін дайындау үшін келесі реактивтер, қосалқы материалдар мен жабдықтар пайдаланылды:

- мырыш сульфаты 7-су, таза, МЕМСТ 4174-77;
- мыс сульфаты 5-су, таза, МЕМСТ 4185-78;
- сусыз қорғасын азот қышқылы, таза, МЕМСТ 4236-77;
- дистильденген су;
- аналитикалық таразы;
- зертханалық өлшеу ыдысы

Топыраққа енгізу мақсатында тұз ерітінділерін дайындау үшін жұмыс ерітінділерінің концентрациясы есептелді. Жұмыс ерітінділерін дайындауға арналған тұздарды таңдау және еріген заттардың концентрациясы зерттеу міндеттеріне және топырақтағы ауыр металл иондарының шекті рұқсат етілген концентрациясына байланысты болды (Ancona et al, 2017). Зертханалық тәжірибеде топырақтағы ауыр металл катиондарының әртүрлі концентрациясы бар мыс, мырыш және қорғасын нитраты сульфаттарының ерітінділері ластаушы заттар болды: 2 және 10 ШРК (мыс үшін ШРК = 3 мг/кг топырақ, қорғасын үшін ШРК = 32 мг/кг топырақ, мырыш үшін 23 мг/кг топырақ). Топырақтағы химиялық параметрлерді анықтау үшін топырақтан қышқыл ерітіндісі дайындалды. 50 мл топыраққа оның биіктігінің 1/3

бөлігіне стаканға салып, топыраққа азот қышқылының ерітіндісі құйылды (1:3). Стакандағы ерітіндіні резеңке ұшымен 3-5 минут бойы жақсылап араластырып, 50 мл колбаға сүзілді. Осылайша, "Феррум-тест" және "Купрум-тест" тест-жүйелерін қолдана отырып, фильтраттағы ауыр металл иондарын анықтау жүргізілді. Өлшенетін электрод өлшенетін ионның түрі және талданатын ерітіндінің температура диапазонына байланысты таңдалды. Ол үшін құрылғыны NO_3^- иондарының белсенділік бірліктерінде конфигурациялау қажет. Бұл жағдайда өлшеу электроды ретінде ЭМ-02.06.04 немесе соған ұқсас электродты қолдану ұсынылады. Орнату дайындық операцияларынан кейін жүзеге асырылады. Құрылғыны рХ белсенділігін өлшеу режимінде реттеу үшін температурасы бірдей екі бақылау ерітіндісі қолданылады. Бірінші бақылау ерітіндісі ретінде басына жақын, екіншісі өлшеу диапазонының соңына жақын ерітіндіні қолдану керек. Баптауды бақылау "өлшеу" режимінде үшінші бақылау ерітіндісі бойынша жүзеге асырылады. Бақылау ерітінділері өлшенетін ионның түріне байланысты тиісті әдістемелер бойынша дайындалады, мысалы, "Өсімдік шаруашылығы өніміндегі нитраттар мен нитриттерді анықтау бойынша әдістемелік нұсқаулар". Отырғызуға дейін және одан кейін топырақтың қышқылдығын анықтау топырақтың құнарлылығын бағалау әдістемесі бойынша, сондай-ақ топырақтағы фосфор мен калийдің жылжымалы түрлерін анықтау арқылы жүзеге асырылды. Топырақтың қышқылдығы (рН) МЕМСТ 26483-85 сәйкес КСІ сорғышында анықталды. Талдауға дайындық: осы зерттеу үшін топырақ үлгілері ылғалдан толығымен кептіріліп, содан кейін електен өткізілді. Содан кейін калий хлориді (KCl) = 1 моль/дм³ экстракциялық ерітіндісі дайындалды. Калий хлориді (75 г) 1000 см³ өлшеуіш колбада тазартылған сумен ерітілді. Талдау осылайша жүргізілді: салмағы 30 г топырақ сынамалары конус тәрізді колбаларға құйылды. Сынамаларға 75 см³ экстракциялық ерітінді қосылды, содан кейін 50 ерітінді бар топырақ бір минут бойы араластырылды. Қышқылдықты анықтау үшін рН ионометрі қолданылды. Құрылғының электродтары алынған ерітіндіге батырылды және суға батқаннан кейін 1 минуттан кейін қышқылдық туралы мәліметтер алынды. Зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтер келтірілген (3-кесте).

Фосфор мен калий МЕМСТ 26204-91 сәйкес анықталды. Дайындық кезеңі: экстракциялық ерітінді дайындалды: сірке қышқылының ерітіндісі $\text{C}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.5$ моль/дм³. Содан кейін бояу ерітіндісін дайындаймыз: 6 гр $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 200 см³-те төмен температурада (шамамен 40°C) сұйылтылып, содан кейін 500 см³ күкірт қышқылының ерітіндісіне 5 моль/дм³ концентрациясында құйылады, 1 г аскорбин қышқылы алынған ерітіндінің 180 см³-де ериді, содан кейін тазартылған сумен 1дм³ белгісіне жеткізілді. 2 г калий фосфор қышқылы және 0,5 г калий хлориді экстракциялық ерітіндіде еріген. Талдау кезең-кезеңімен жүргізілді: салмағы 4 г топырақ сынамалары төрт колбаға салынды (әр топырақ үлгісіне 2 колба) және 100 см³ қосылды, араластырылды және қағаз сүзгілері арқылы сүзілді. Сорғыштардың 5 см³ ерітіндісі таңдалды және боялған ерітіндінің 45 см³ реактиві қосылды. Фотометрия 600-750 нм аймағында ең жоғары өткізу қабілеті бар қызыл жарық сүзгісін қолдана отырып, КФК-2 құрылғысына бекітілді.

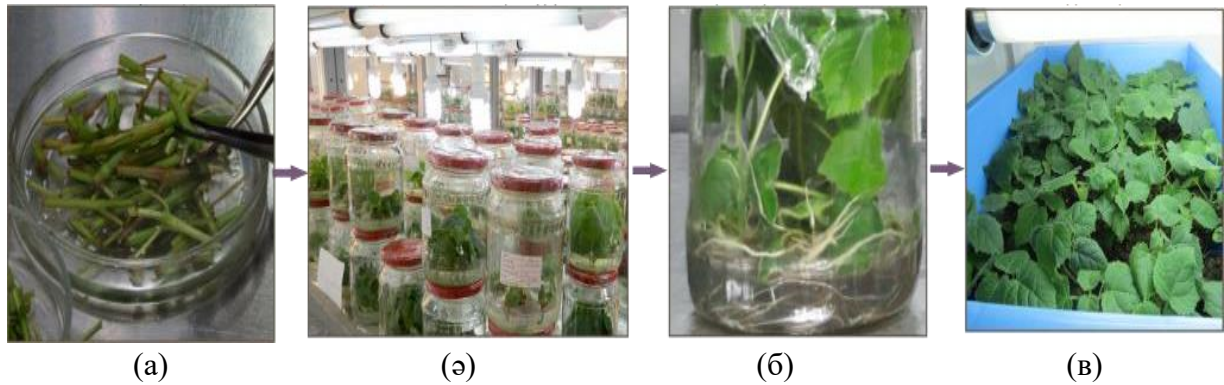
Биомониторинг зерттеудің қажетті элементі болып табылады.

Зерттеу нысаны тез өсетін Павловния ағашы болды. Нысанды таңдау өсімдіктің экологиялық сипаттамаларына негізделген. Зертханалық талдаулар нәтижесінде топырақ үшін қабылданған ШРК нормативтерімен салыстырғанда жауын-шашын кезінде ауыр металдар құрамының артуы байқалады, қышқыл топырақтардың ауданы ұлғаяда, мышьяк, мырыш, кадмий, никель, мыс, қорғасынның жинақталуы анықталған. (Medina et al., 2003; Anil et al., 2003). Сондай-ақ, Павловнияның өсу қарқыны, биомассаның жинақталуы ақаба сулар мен жауын-шашынға негізделген топырақ субстраттарында ауыр металдардың жиналуы бойынша түрлік ерекшелігі анықталды. Бұл нәтижелер техногендік топырақтар үшін өсімдіктерді селекциялық зерттеудің маңыздылығын көрсетеді.

3. Нәтижелер

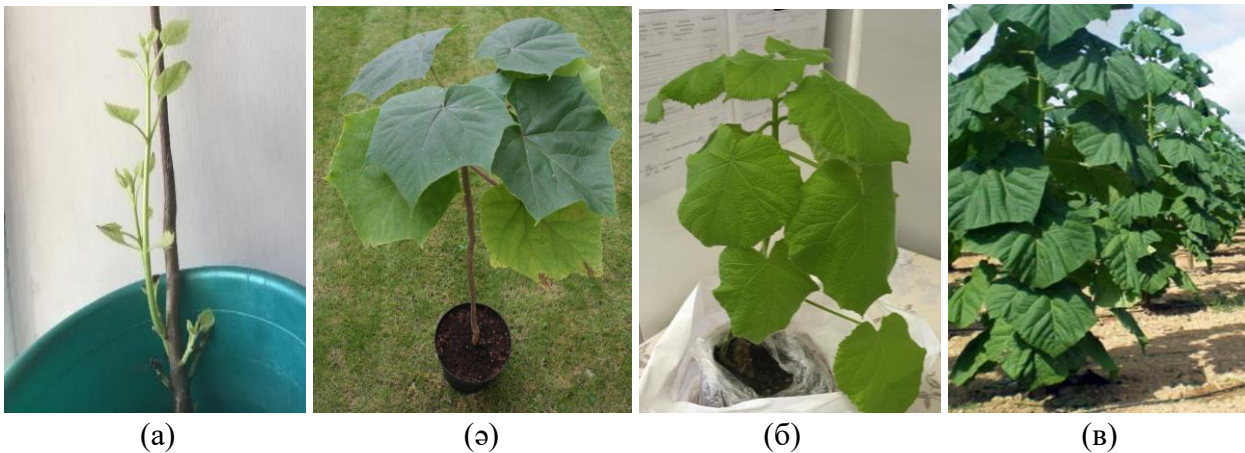
3.1. Фиторемедиация процесіне әртүрлі факторлардың (концентрация, температура, ылғалдылық, жарық, рН) әсерін зерттеу

Бірнеше тәжірибелік өсірілген көшеттер қоршаған ортаны тазарту үшін Павловния өсімдігін қолдану мүмкіндігін растады (сурет 1, 2).



Сурет 1. Павловнияның сулы ортада өсу кезеңдері:

- а) 10 күндік өскіннің үлгісі.
- ә) 15 күндік өскіннің үлгісі.
- б) 20-25 күндік өскіннің үлгісі.
- в) 60 күндік өскіннің үлгісі



Сурет 2. Павловнияның топырақта өсу кезеңдері:

- а) 20 күндік өскіннің үлгісі.
- ә) 40 күндік өскіннің үлгісі.
- б) 50 күндік өскіннің үлгісі.
- в) 90 күндік өскіннің үлгісі.

Алматы аймағында орналасқан ауыл шаруашылығы дақылдарын өсіру учаскесіндегі №1 топырақ сынамасы үшін жүргізілген зерттеулер нәтижесінде өсімдіктер үшін қолайлы деңгейден асатын топырақтың қышқылдығы анықталды және рН мәні 7.6 құрады, бұл өсімдіктердің темірді (Fe) сіңіруіне кедергі келтіретін ортаны білдіреді. Бұл микроэлементтер өсімдіктердің ферментативті жүйелерінің бөлігі болып табылады. Оның маңызды рөлі – тотығу және энергия алмасуын сақтау, сонымен қатар негізгі зат – хлорофиллдің түзілуіне қатысады. Алматы облысының Жетісу ауданындағы алқаптардан алынған №2 топырақ сынамасы қышқылдық деңгейі бойынша өсіруге қолайлы болып шықты және рН 8.0 құрады,

бірақ өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін сілтілі орта да байқалады. Топырақ сынамаларының статистикалық мәліметтері 2-кестеге енгізілді.

Кесте 2. Үлгілердің сипаттамалары

№ үлгі	Тереңдігі, см	Қышқылдық, рН	Гумус, %	СО ₂ , %	Жылжымалы түрлері, мг/кг	
					Р ₂ О ₅	К ₂ О
№1 топырақ сынамасы	0-20	7,6	2,4	5,84	21	310
№2 топырақ сынамасы	0-20	8,0	1,8	2,36	15	313,6

2-кестеде берілген мәліметтерден үлгілердің сипаттамалары бірдей екендігі шығады.

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, бірінші үлгінің жоғары сапалы құрамы туралы қорытынды жасауға болады. Химиялық ластаушы заттарды сіңірген кезде, кейде металл топырақтың органикалық заттарымен байланысады, бұл оны алу мүмкін емес өсімдік етеді. Топырақтың сапасы морфологиялық, химиялық және физикалық қасиеттерге байланысты. Олардың негізгілері: гумустың қалыңдығы, қарашіріктің пайызы, топырақтағы физикалық саз, гумустың шикізат қоры, топырақтағы азот, фосфор және калий сияқты элементтер, бөлшектердің мөлшері бойынша таралуы, қышқылдық және т.б.

Кесте 3. Топырақ ортасының өсімдіктердің өсуіне әсері

Топырақтың рН мәні	Өсімдік тіршілігіне әсері
>8,3	Көптеген өсімдіктер үшін тым сілтілі орта
7,5	Темірдің (Fe) болуы анықталды
7,2	6,8 – ден 7,2-ге дейін – дерлік бейтарап
7,0	6,0 – ден 7,5-ке дейін – көптеген өсімдіктер үшін қолайлы
6,8	
6,0	
5,5	Топырақтың микробиалды белсенділігінің төмендеуі
<4,6	Көптеген өсімдіктер үшін тым қышқыл орта

3-кестенің нәтижелері бойынша топырақтың рН 6,0-ден 7,5-ке дейін көптеген өсімдіктер үшін қолайлы, рН 5,5-те топырақтың микробиалды белсенділігі төмендейді. рН>8 сілтілі орта өсімдіктердің өсуінің баяулауына әкеледі. Сонымен, 3-кестеде көрсетілгендей рН 6,0-7,5 сәйкесінше қолайлы орта. Топырақтың қышқылдылық ортасы зертханалық иономер И-160МИ-де анықталды.

3.1.1. Өсімдіктердің ластаушы заттарды сіңіру және түрлендіру механизмдерін талдау

Қазіргі кездегі барлық әдістердің ішінде ауыр металдармен ластанған топырақты фиторемедиациялау технологиялары ең көп зерттелген болып табылады. Өсімдіктер ауыр металдарды сіңіргенде, кейде бұл металдар топырақтағы органикалық заттармен әрекеттеседі. Ауыр металл иондарын бақылау кезінде топырақ пен өсімдіктерді дайындау сәйкес жүргізілді. Қажетті концентрациядағы поллютант тұздарының ерітінділері дайындалды (ауыр металл тұздарының жұмыс ерітінділерін дайындау әдістемелік нұсқаулығы). 20x30x10 см пластикалық контейнерлерге 1 кг топырақ орналастырылды. Тәжірибе схемасына сәйкес топырақты мұқият ылғалдандырғаннан кейін әр контейнерге 50 мл ауыр металл ерітіндісі

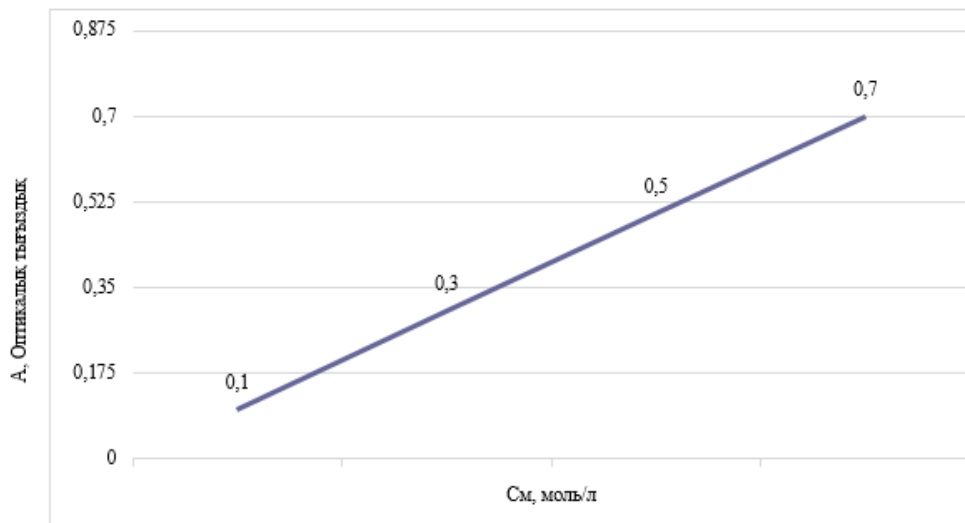
қосылды. Бұл зерттеуде фиторемедиацияның әлеуеті түрдің тазарту ерекшелігіне байланысты болды. Аталған зерттелген өсімдіктің фиторемедиацияға бейімділігі топырақта жинақталған ауыр металдардың болуына байланысты маңызды болды.

Мыстың нанобөлшектері аскорбин қышқылымен тотықсыздандыру арқылы алынды.

Жұмыс барысында аскорбин қышқылының тотықсыздандырғышы мен желатин тұрақтандырғышының қатысуымен сулы ортадағы мыс сульфатының әртүрлі концентрациядағы ерітінділерін қолдана отырып, онтайлы жағдайларды анықтау үшін мыстың бактерияға қарсы белсенділігіне әртүрлі факторлардың (қолданылатын реагенттердің концентрациясы, ортаның рН мәні) әсері зерттелді. Құрамында аскорбин қышқылына негізделген мыс сульфаты бар топырақтың қышқылға төзімділігін жақсарту үшін тұрақтандырылған бөлшектерде (шамамен 0.01 моль/л) концентрациялы ерітінді алудың қарапайым және экологиялық таза әдісі спектрофотометрде зерттелді. Өңделген топырақ үлгілерінің сіңіру спектрлері мыс нанобөлшектерінің беткі плазмондық резонансына сәйкес келетін 0.2-0.9 диапазонына тән мәндерді көрсетті (сурет 3). Максималды оптикалық тығыздық 0.58 ± 0.02 толқын ұзындығында байқалды, бұл 40-60 нм сфералық мыс нанобөлшектерінің әдеби деректеріне сәйкес келеді. Зертханалық сканерлеуші электронды микроскопия құрылымдық сипаттамалардың жақсаруын түсіндіретін мыс нанобөлшектері қосылған топырақ бөлшектерінің тұрақты агрегаттарының түзілуі анықталды.

3.2. Деректерді талдау әдістері (статистикалық өңдеу, графиктер мен диаграммалар)

Бөлшектердің жарықты талғамды сіңіруіне қасиетіне сәйкес оптикалық тығыздығы максималды мәнге ие болатын толқын ұзындығын таңдай отыра, зерттелетін компоненттің концентрациясы есептелді.



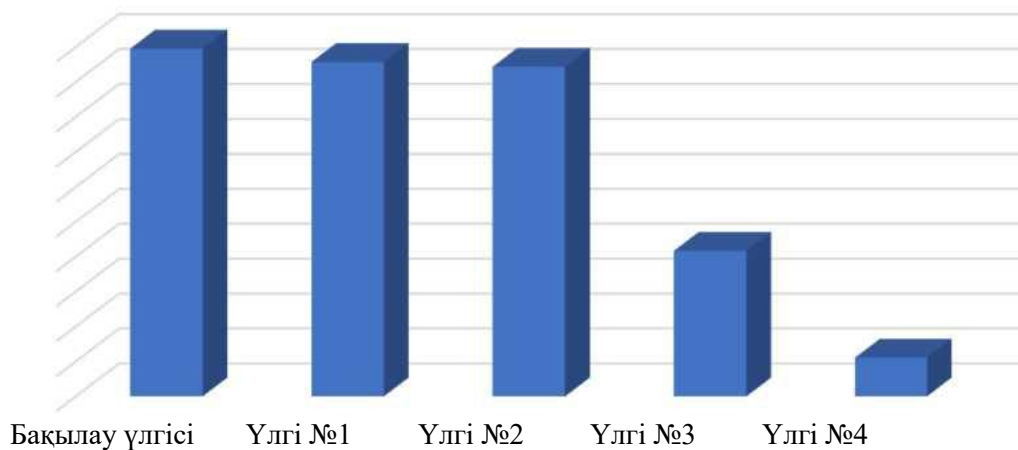
Сурет 3. Мыс сульфатының концентрациясының оптикалық тығыздыққа әсері

Алматы технологиялық университеті «Азық-түлік қауіпсіздігі ФЗИ» топырақ пен өсімдік материалындағы ауыр металдар спектрофотометриялық әдісімен анықталды. Ауыр металдардың жылжымалы формаларын өңдеуден кейін 60 күннен кейін қорғасын мен кадмий иондарының концентрациясының тиісінше 45% және 52% төмендегенін көрсетті (кесте 4).

Кесте 4. Топырақтың құрамындағы ауыр металдардың көрсеткіші

Көрсеткіштер атауы, өлшем бірлігі	Нәтижелері	НҚ
Ауыр металдар: -Pb, мг/кг -Cd, мг/кг	2,0516±0,0052 3,1571±0,045	МЕМСТ Р 53381-2009 МЕМСТ Р 50686-94

Өңделген топырақ учаскелері айқын бактерицидтік қасиеттерге ие. Мыстың нанобөлшектерін қалыптастырудың оңтайлы шарттары және оларды топырақ учаскелеріне қолдану анықталды. Өңделген топыраққа микробқа қарсы қасиеттерді беретіні және оның беріктік сипаттамаларын жақсартатыны анықталды. Мыстың нанобөлшектерінің бактерияға қарсы қасиеттерін анықтау үшін бірқатар зерттеулер жүргізілді. Бұл зерттеу үшін топырақ учаскелері микробқа қарсы қасиеттерді сынау үшін алынған мыс нанобөлшектерінің ерітінділерімен өңделді.



Сурет 4. Мыс нанобөлшектерінің әртүрлі концентрацияларымен өңдеуге дейін және өңдеуден кейін топырақтағы бактериялардың болу көрсеткіштері: №1 - 0,01 г/л, №2 - 0,1 г/л, №3 - 0,3 г/л, №4 - 0,5 г/л

Мыс нанобөлшектерімен өңделген топырақ үлгілерінің бактерияға қарсы қасиеттерін зерттеу үшін бактериялары бар үлгілер Петри табақшасына орналастырылды және бактериялардың азаю аймағы анықталды. Мыстың нанобөлшектерінің бактерияға қарсы қасиеттерін анықтау үшін де микробиологиялық зерттеулер жүргізілді.

Нәтижелер стандартты микроскопия мыс нанобөлшектерімен өңделген бақылау үлгісінде микробтарды анықтамағанын, ал өңделмеген үлгідегі бактериялар саны рұқсат етілген шектен асып кеткенін көрсетті (сурет 4). Бұл жағдайда мыстың биожетімділігінің артуы байқалмады, бұл қолданылатын әдістің экологиялық қауіпсіздігін көрсетеді.

Кесте 5. CuSO_4 ерітіндісінің концентрациясынан оптикалық тығыздықтың өзгеруі

C_{CuSO_4} , моль/л	0,1	0,15	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
AU	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

Кестелік мәліметтерден мыс сульфатының концентрациясының жоғарылауына байланысты үлгінің оптикалық тығыздығы артатыны көрінеді (кесте 5).

Кесте 6. Бастапқы заттардың концентрациясы

№	Заттың бастапқы концентрациясы, моль/л		
	Желатин	CuSO ₄	C ₆ H ₈ O ₆
1	0,05	0,1	0,05
2	0,1	0,15	0,1
3	0,2	0,3	0,3
4	0,05	0,4	0,1
5	0,1	0,5	0,1
6	0,2	0,6	0,1
7	0,3	0,7	0,2

6-кестеден көрініп тұрғандай, өсімдіктің өсуінің оңтайлы шарты – шамамен 0,3 моль/л ерітіндінің концентрациясы.

4. Талдау

Зерттеу нәтижелері бойынша топырақ үлгілеріндегі ауыр металдардан фиторемедиация әдісін қолдана отырып, топырақ үлгілерінің сапалық көрсеткіштері және Павловния сорбциялық қасиеттері анықталды. Химиялық ластаушы заттардың ластануы әсіресе автомобиль жолының жанында жиі байқалады, бұл осы жұмыстың нәтижесі. Осылайша, Алматы облысында топыраққа экологиялық рұқсат етілген әсер ету деңгейінің артуы байқалады және оның сарқылуы мен ластануының нақты қаупі бар. Автотранспорт шығарындыларынан бөлінетін ауыр металдармен жер учаскелерінің ластануының ұлғаю үрдісі белгіленді, Алматы қаласы жағдайында осы көрсеткіштер бойынша топырақ мониторингі қажет. Жоғарыда айтылғандардан ластаушы заттардың, әсіресе металдардың өсімдіктердегі биоаккумуляциясы тұрақтандырғыштарға әсер етуі мүмкін және зардап шеккен өсімдік материалын тазартқыш заттармен өңдеуді қажет етеді.

5. Қорытынды

Қазіргі уақытта антропогендік жүктеменің артуы нәтижесінде қоршаған ортаның ластану мәселелерін шешуге байланысты перспективалы бағыттардың бірі өсімдіктердің қоршаған ортадан (ауа, су немесе топырақ) зиянды заттарды сіңіру және оларды тіндерінде жинақтау немесе метаболиттерге айналатын физиологиялық процестер кезінде бейтараптандыру қабілетіне негізделген фиторемедиация болып табылады. Фиторемедиациялық потенциал зерттеу барысында анықталды, топырақтағы тәжірибе нұсқалары бойынша мышьяк пен қорғасынның жалпы құрамындағы елеулі өзгерістер болған жоқ, дегенмен соңғы кезеңде (тамызда) өсімдік материалында мышьяқтың жоғары мөлшері анықталды.

Осылайша, фиторемедиация әдісінің барлық артықшылықтары мен шектеулері зерттеліп, эксперименталды түрде көрсетілді. Нәтижелер топырақтың экологиялық қауіпсіздігі мен құнарлылығын қамтамасыз ететін Павловния өсімдігін табиғи фиторемедиант ретінде дәлелдейді. Табиғи ортадан поллютанттарды жою үшін фиторемедиация әдісі қолайлы ортаны қалпына келтірудің қолданыстағы әдістеріне балама болып табылады.

Зерттеу жұмысының нәтижесінде келесі мақсаттарға қол жеткізілді:

-табиғатты ұтымды пайдаланудағы фиторемедиация технологиясы бойынша Павловния өсімдігін зерттеу және анықтау;

- Павловния фиторемедианттарының қоршаған ортаның сапалық көрсеткіштеріне әсерін зерттеу.

Осылайша, табиғи тазартқыштардың әртүрлі концентрациядағы химиялық реагенттерді сіңіру қасиеттері, сондай-ақ химиялық ластану кезіндегі топырақ параметрлерінің қоршаған ортаға әсері бар екендігі анықталды.

Аскорбин қышқылын тотықсыздандыру арқылы тұрақтандырылған 0.01 моль/л концентрациясында мыс нанобөлшектерін қолдану анықталды:

1. Патогендік микрофлораға қарсы айқын бактерицидтік қасиеттерді қамтамасыз етеді
2. Топырақтың физика-механикалық өнімділігін жақсартады
3. Пайдалы микроорганизмдерге теріс әсер етпейді
4. Ауыр металдардың иммобилизациясына ықпал етеді

Зерттеу нәтижелері бойынша физика-химиялық талдау әдістері қолданылды. Нәтижелер наноматериалдарды пайдалана отырып, ластанған топырақты ремедиациялаудың кешенді технологияларын құруға перспективалар ашады.

Бұл жұмыста Павловния өсімдігінің Алматы қаласының тау бөктеріндегі аймағының топырақ-климаттық жағдайларында өзінің физикалық қасиеттері мен әлеуетті құнарлылық деңгейі бойынша фиторемедиация жағдайларын толығымен қанағаттандыратыны көрсетілген.

6. Қосымша материалдар: қосымша материал жоқ.

7. Авторлық үлестер

Концептуализация - Л.К.; әдістеме - Ж.Ш.; бағдарламалық қамтамасыз ету - Г.Ж.; validation - Г.С.; формальды талдау - Ш.А., Г.Ж.; тергеу - Г.С.; ресурстар - Г.С., Ж.Ш.; деректер кураторы - Г.С., Ш.А.; жазу - түпнұсқа жоба - Л.К.; жазу - рецензиялау және редакциялау - Ж.Ш., Г.Ж.; визуализация - Ш.А., Г.Ж.; қадағалау - Л.К.; жобаны басқару - Л.К.; әдістеме - Ж.Ш.; бағдарламалық қамтамасыз ету - Л.К.; қаржыландыруды сатып алу қарастырылмаған.

8. Автор туралы ақпарат

Қалимолдина, Лайла - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Алматы технологиялық университеті, Төле би 100, Алматы, Қазақстан, 050012; Kalimoldinal@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4397-9629>

Шаихова, Жанат - техника ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университеті, Төлеби 100, Алматы, Төле би 100, Қазақстан, 050012; zh.shaikhova1965@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>

Султангазиева, Гулбарам - ауылшаруашылығы ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университеті, Төле би 100, Алматы, Қазақстан, 050012; gul-2012-61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7724-9558>

Жақсыбаева, Гүлжан - PhD, Алматы технологиялық университеті, Төле би 100, Алматы, Қазақстан, 050012; zhaksybaeva.gulz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6516-7325>

Аскарова, Шинар - ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университеті, Төле би 100, Алматы, Қазақстан, 050012; askarova-1977@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-7616>

9. Қаржыландыру: бұл зерттеу сыртқы қаржыландыруды алған жоқ.

10. Алғыстар: Алматы технологиялық университетінің «Азық-түлік қауіпсіздігі ҒЗИ» қызметкерлеріне топырақ пен өсімдік материалындағы ауыр металдарды спектрофотометриялық әдісімен анықтағаны үшін алғыс айтамыз.

11. Мүдделер қақтығыстары: авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

12. Әдебиеттер тізімі

1. Anil, K., Gupta, Mohammad, Yunus and Pramod, Pandey, K. (2003). Bioremediation: Ecotechnology for the Present Centur. *EnviroNews*, 9(2). https://isebindia.com/01_04/03-04-2.html
2. Ancona, V., Barra, C. A., Campanale, C., De Caprariis, B., Grenni, P., Uricchio, V. F., & Borello, D. (2019). Gasification of poplar biomass produced in a contaminated area using bioremediation. *Journal of Environmental Management*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.067>
3. Ancona, V., Barra, C., Grenni, P., Di, L., Campanale, C., Calabrese, A., Uricchio, V. F., Mascolo, G., & Massacci, A. (2017). Plant-based bioremediation of an area historically contaminated with PCBs and heavy metals in Southern Italy. *New biotechnology*, 38 (Pt B), 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.09.006>
4. Bieby, V., Tangahu, S., Rozaimah, A., Hassan, B., Mushrifah, I., Nurina, A., & Muhammad, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 1687-806X. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>
5. Clemens, S., Palmgren, M. G. & Kramer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Science*, 7(7), 309-314. [doi:10.1016/S1360-1385\(02\)02295-1](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02295-1)
6. Demin, A. V., Rybalchenko, I. V., Milkina, I. V., & Zhandarova, Yu. A. (2022). Technologies of sustainable development of territories: phytoremediation as an innovative method of rehabilitation of depressed territories (Tekhnologii ustoychivogo razvitiya territoriy: fitoremediatsiya kak innovatsionnyy metod reabilitatsii depressivnykh territoriy in Russian). *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: State and Municipal Administration (Byulleten' Universiteta Druzhby Narodov Rossii. Seriya: Gosudarstvennoe i Munitsipal'noe Upravlenie)*, 9(2). 124-136. <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2022-9-2-24-136>
7. Dushenkov, V. (1999). Phytoremediation: the green revolution in ecology (Fitoremediatsiya: zelyonaya revolyutsiya v ekologii in Russian). *Chemistry and Life of the 21st century (Chimiya i Zhizn' 21 veka in Russian)*, 11-12, 48-49. <https://djuv.online/file/kex7oRV7pfh3G>
8. Garbisu, C. (2002). Phytoremediation: a technology using green plants to remove contaminants from polluted areas. *Reviews on Environmental Health*, 17(3), 173-188. <https://doi.org/10.1515/REVEH.2002.17.3.173>
9. Johnson, E. R. R. L. & Shilling, D. G. “Cogon Grass. Plant Conservation Kirchner, A. (2002). Mine-land restoration: phytoremediation of heavy-metal contaminated sites - a critical view”. *International Ecological Engineering Society*. http://www.iees.ch/EcoEng011/EcoEng011_R2.html
10. Kireeva, N. A., Grigoriadi, A. S., & Bagautdinov, F. Ya. (2011). Phytoremediation as a method of purification of soils contaminated with heavy metals (Fitoremediatsiya kak metod ochistki pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami in Russian). *Theoretical and Applied Ecology (Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya)*, 3, 4-16. <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=oofkoh>
11. Kamnev, A. A., & Van der Lelie, D. (2000). Chemical and biological parameters as tools to evaluate and improve heavy metal phytoremediation (Khimicheskie i biologicheskie parametry kak instrumenty dlya otsenki i uluchsheniya fitoremediatsii tyazhelykh metallov in Russian). *Bioscience Reports (Bionauchnye doklady)*, 20, 239-258. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026436806319>
12. Kalimoldina, L. M., Sergibaeva, I. M. (2021). Phytoremediation as a biological method of reducing the harmful effects of motor transport on the environment (Fitoremediatsiya kak biologicheskiy metod snizheniya vrednogo vozdeystviya avtomobilnogo transporta na okruzhayushchuyu sredu in Russian). *International Turkish World Engineering and Science*

- Congress Bildiriler Kitabı Proceedings Book*. APA, 2021, 645-646. <https://teskongre.org/fm2021eng/kongre-programi/>
13. Kalimoldina, L. M., Sultangazieva, G. S., & Suleimenova, M. Sh. (2022). Contamination of soils with heavy metal in the urban area of Almaty. *Soil Science and Agrochemistry*, 3, 38-45. https://doi.org/10.51886/1999-40X_2022_3_38
 14. Medina, V. F., Marmiroli, M., Dietz, A. C., & Cutcheon, S. C. (2003). Plant tolerances to contaminants. *Phytoremediation: transformation and control of contaminants*. New York: JohnWiley, 189–32. https://www.researchgate.net/publication/229721192_PlantTolerances_toContaminants
 15. Macek, T., Francova, K., Kochankova, L., Lovecka, P., Ryslava, E., Rezek, J., Sura, M., Triska, J., Demnerova, K., & Mackova, M. (2004). Phytoremediation: biological cleaning of a polluted environment. *Reviews on Environmental. Ealth*, 19(1), 63-82. <https://doi.org/10.1515/reveh.2004.19.1.63>
 16. Minyuk, Z. P., & Sharovarov, G. A. (2008). Modern methods of cleaning polluted territories (Modern metody ochistki zagryaznennykh territoriy in Russian). *Bulletin of MDU named after A.A. Kulyashova (Vesnik MDU named after A.A. Kulyashova)*, 2-3(30), 173-178. <http://libr.msu.by/handle/123456789/14074>
 17. McCutcheon, S., Wolfe, N. L., Carreria, L., & Ou, T. (1995). Phytoremediation of hazardous wastes//Innovative technologies for site remediation and hazardous waste management. *Proceedings of the National Conference.Pittsburgh, Pennsylvania*, 597-604. https://www.researchgate.net/publication/255264707_Phytoremediation_of_hazardous_wases_Technical_report_23--26_July_1995
 18. Roongtanakiat, N. & Chairaj, P. (2010). Vetiver grass for remedying soil contaminated with heavy metals. http://www.google.com/Roongtanakiat+N+and+Chairaj+R=2001&meta=&aq=o&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=da1b4ba80a870679
 19. Mohammad, I. L., Zhen-li, H., Peter, J. S., & Xiao-e, Y. (2008). Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *J Zhejiang Univ Sci B*, 9(3), 210-220. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0710633>
 20. Tica, D., Udovic, M., & Lestan, D. (2011). Immobilization of potentially toxic metals using different soil amendments. *Chemosphere*, 85, 577-583. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.085>
 21. US Environmental Protection Agency (2004). Lead-how lead affects the way we live and breath. office of air quality planning and standards. <http://www.epa.gov/air/urbanair/lead/index.html>
 22. United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2004). Hazard Summary. Lead Compounds. <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/lead.html>
 23. Vassilev, A. (2002). Metal phytoextraction: state of art and perspectives (Metal fitoekstraktsiya: sostoyanie iskusstva i perspektivy in Russian). *Bulgarian J. of Agr. Sci*, 8, 125–140. <https://agrojournal.org/08/859.htm>
 24. Wu, J., Hsu, F. C. & Cunningham, S. D. (1999). Chelate-assisted pb phytoextraction: pb availability, uptake, and translocation constraints. *Environmental Science and Technology*, 33(11), 1898-1904. [doi:10.1021/es9809253](https://doi.org/10.1021/es9809253)

Study of phytoremediation application methods in green technology

Laila Kalimoldina, Zhanat Shaikhova, Gulbaram Sultangazieva, Gulzhan Zhaksybayeva, Shinar Askarova

Abstract. Environmental pollution was a global environmental hazard, and the current situation was of concern to the Government, scientists, and the public, necessitating the development of simple and

sufficiently effective technologies for the circulation of elements in nature that were converted into pollutants during economic processes.

The most suitable method for the currently known concept of environmental purification is phytoremediation, which is based on the hyperaccumulative ability of plants to extract radioactive or polluting elements from the substrate.

This research work is aimed at developing the basic elements of phytoremediation technology.

Since the processes involved in phytoremediation occur naturally, polluted areas are usually self-cleaned by plants without human intervention and are suitable for use in areas with low levels of pollution.

The purpose of the work is to study natural, environmentally friendly plants using the phytoremediation method. In the course of the research, an analytical review of modern scientific, technical, regulatory, and methodological literature was conducted, a research program was developed, appropriate methods were selected, and experiments were conducted in the laboratory and in the field. The results of laboratory and field experiments are analyzed.

Several field tests have confirmed the possibility of using Paulownia plants to purify the air environment of Almaty and the Almaty region. The results of the study show that the soil layer can be restored in areas contaminated with heavy metals (cadmium, lead, arsenic, and antimony) using a fast-growing Paulownia tree. All the advantages and limitations of the phytoremediation method have been investigated and experimentally demonstrated. The results of the study determine the acceptability of the phytoremediation method to reduce environmental impact in polluted soil.

Keywords: phytoremediation technology; Paulownia; environment; heavy metals; soil.

Изучение методов применения фиторемедиации в зеленой технологии

Лайла Калимолдина, Жанат Шаихова, Гулбарам Султангазиева, Гулжан Жақсыбаева, Шинар Аскарова

Аннотация. Загрязнение окружающей среды носит характер глобальной экологической опасности, нынешняя ситуация вызывает беспокойство у правительства, ученых, общественности и вызывает необходимость разработки простых и достаточно эффективных технологий круговорота в природе элементов, превращенных в загрязняющие вещества в ходе экономических процессов.

Наиболее подходящим методом для известной на сегодняшний день концепции очистки окружающей среды является фиторемедиация, в основе которой лежит гипераккумулятивная способность растений извлекать радиоактивные или загрязняющие элементы из субстрата.

Данная научно-исследовательская работа направлена на разработку основных элементов технологии фиторемедиации. Поскольку процессы, участвующие в фиторемедиации, происходят в естественных условиях, загрязненные районы, как правило, самоочищаются растениями без вмешательства человека и подходят для использования в районах с низким уровнем загрязнения.

Цель работы – изучение натуральных экологически чистых растений с использованием метода фиторемедиации. В ходе исследования был проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, разработана программа исследования, подобраны соответствующие методики и проведены опыты в лабораторных и полевых условиях. Проанализированы результаты лабораторных и полевых экспериментов. Несколько полевых испытаний подтвердили возможность использования растения Павлония для очистки воздушной среды города Алматы и Алматинской области. Результаты исследования показывают, что слой почвы может быть восстановлен на участках, загрязненных тяжелыми металлами (кадмием, свинцом, мышьяком и сурьмой), с помощью

быстрорастущего дерева Павловнии. Были исследованы и экспериментально продемонстрированы все преимущества и ограничения метода фиторемедиации. Результаты исследования определяют приемлемость метода фиторемедиации для снижения воздействия на окружающую среду в загрязненной почве.

Ключевые слова: технология фиторемедиации; окружающая среда; Павловния; тяжелые металлы; почва.