

FTAMP 61.53.15 : 87.21.23

Э.Н. Абдулова¹ – негізгі автор, ©
Ұ.Ф. Қанатбек², Е.Қ. Реймбаев³,
А.А. Куртебаева⁴, А.М. Серикбаева⁵,
С.А. Орынбаев⁶, Т.Г. Хелдер⁷, М.С. Калмаханова⁸



^{1,5}Магистр, аға оқытушы, ²Магистрант, ^{3,4}Докторант,
^{6,7,8}PhD, қауымдас. профессор

ORCID

¹<https://orcid.org/0009-0009-0660-7616> ²<https://orcid.org/0009-0005-4568-9993>
³<https://orcid.org/0009-0006-7669-3247> ⁴<https://orcid.org/0000-0002-1975-0755>
⁵<https://orcid.org/0000-0002-8204-7851> ⁶<https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>
⁷<https://orcid.org/0000-0001-6898-2408> ⁸<https://orcid.org/0000-0002-8635-463X>



^{1,5}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу Университеті,
Шымент, Қазақстан
^{2,3,4,6,8}М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан
⁷Браганса политехникалық институты, Браганса, Португалия

@

⁸marijanseitovna@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/TDCX3105>

АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУ АЙМАҒЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНҒАН ТОПЫРАҚТЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ БОЙЫНША ШЕШІМДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Топырақтың ауыр металдармен ластануы қазіргі қоғам алдында тұрған ең өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып табылады. Сол себепті бұл зерттеудің мақсаты ауыр металдармен (Ni және Pb) латанған топырақты биокөмір көмегімен тазалау және биокөмірдің топыраққа әсерін бағалау болып табылады. Биокөмір ретінде ауыл шаруашылығы қалдықтары (қант қызылшасы, тауық көні) алынды. Биокөмір 450°C температура 1 сағатта пиролиз процесі арқылы алынды. Алынған биокөмірдің физика-химиялық қасиеттері (ИК-спектр, СЭМ) зерттелінді. Топырақтың ауыр металдармен ластануын модельдеу процесі жүргізілді. Ол үшін 200 мг/л концентрацияда Pb(NO₃)₂ ерітінді дайындалды. Ерітінді 500 гр топыраққа құйылып, қант қызылшасынан жасалған биокөмір 1%, 5%, 10% араластырылды. 30 күн инкубациялық период нәтижесінде элементтік анализ арқылы ауыр металдың концентрациясының өзгерісі байқалды. Биокөмірдің топыраққа әсері жүгері отырғызу арқылы бақыланды.

Тірек сөздер: биокөмір, пиролиз, топырақ, атомдық-эмиссионды спектроскопия, ик-спектр, ауыр металл, элементтік анализ, сканерлейтін электронды микроскопия (СЭМ).



Абдулова, Э.Н. Ағынды суларды тазарту аймағындағы ауыр металдармен ластанған топырақты қалпына келтіру бойынша шешімдерді әзірлеу [Мәтін] / Э.Н. Абдулова, Ұ.Ф. Қанатбек, Е.Қ. Реймбаев, А.А. Куртебаева, А.М. Серикбаева, С.А. Орынбаев, Т.Г. Хелдер, М.С. Калмаханова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.368-382. <https://doi.org/10.55956/TDCX3105>

Кіріспе. Қорғасын, сынап, кадмий және никель сияқты ауыр металдар топыраққа әртүрлі антропогендік әрекеттерден, соның ішінде өнеркәсіптік

шығарындылардан, пестицидтер мен тыңайтқыштарды қолданудан және рұқсат етілмеген қалдықтарды шығарудан түседі. Бұл элементтер жоғары уыттылыққа ие және экожүйелерде жинақталуы мүмкін, бұл адам денсаулығы мен қоршаған ортаға ауыр зардаптарға әкеледі [1].

Ауыр металдармен ластанған топырақты тазартудың заманауи технологиялары әр түрлі әдістерді қамтиды, олардың әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері мен артықшылықтары бар. Бұл технологиялар топырақтағы улы заттардың концентрациясын төмендетуге бағытталған, бұл қоршаған ортаны қорғау мен адам денсаулығы үшін маңызды міндет болып саналады [2].

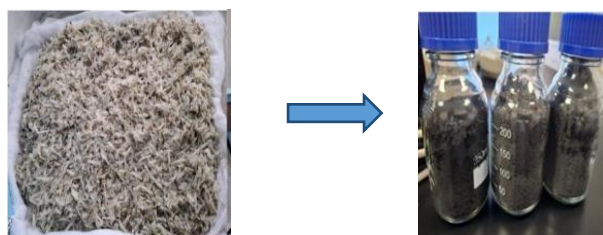
Биокөмір немесе биочар – оттегінің шектеулі қол жетімділігі жағдайында пиролиз процесі арқылы органикалық қалдықтардан алынған кеуекті көміртекті материал. Соңғы жылдары биокөмір ластанған топырақты, әсіресе ауыр металдарды тазартудың танымал әдісіне айналды. Оның бірегей физика-химиялық қасиеттері оны топырақтағы улы заттардың биожетімділігін байланыстыруға және азайтуға қабілетті тиімді адсорбент етеді [3]. Биокөмірді пайдаланудың маңызды аспектісі оның топырақтағы микробтық белсенділікті сақтау және арттыру қабілеті болып табылады.

Биокөмір ретінде ауылшаруашылық қалдықтары (қант қызылшасы және тауық көңі) алынды. Тауық көңінен алынған биокөмір фосфорға, калийге және азотқа бай, бұл оны ауыл шаруашылығында бағалы тыңайтқыш етеді және қалдықсыз өнім болып табылады. Соңғы жаңалықтарға сүйене отырып [4], қант қызылшасының қалдық ретінде көп көлемде болуына байланысты қант қызылшасынан биокөмір жасау мақсат етілді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Қажетті құрал-жабдықтар:* муфель пеші, тигельдер табақшасы, аналитикалық таразылар, ыстыққа төзімді қысқыштар, ыстыққа төзімді қолғаптар, ұсақтағыш және форфор ступкасы, пластмассадан жасалған контейнерлер (әр металға 3 дана), шпатель, зертханалық таразы, қорғасын нитраты: $Pb(NO_3)_2$, өлшеуіш ыдыс-стакандар, колбалар, бюреткалар, тамшуырлар, жүгері тұқымдары, сызғыш, АЭС (Атом-эмиссиялық спектрометр), сүзгілер мен құтылар, тазартылған су, сорғыш шкаф [5].

Биокөмір өндіру. Ауылшаруашылық қалдықтарынан өндірілген биокөмірдің ластанған топырақтан ауыр металдарды (Pb және Ni) кетіруге әсерін зерттеу жұмыстары жүргізілді. Ауылшаруашылық қалдықтарын құрғатып, ұсақтап және електен өткізілді (қант қызылшасы және тауық көңі).

Еленген ауылшаруашылық қалдықтарын тазартылғын сумен жуып, вакуумды пеште түні бойы $85^{\circ}C$ температурада кептірілді. Қант қызылшасының қалдықтары және тауық көңі муфель пешінде пиролиз әдісімен биокөмір өндірілді. Пиролиз процесі биомассаны $450^{\circ}C$ температурада 1 сағатта жүргізілді (1, 2-суреттер) [6].



Сурет 1. Қант қызылшасынан биокөмір өндіру процесі



Сурет 2 .Тауық көнінен биокөмір өндіру процесі

Тауық қиынан 5 г бастапқы массаға 1,4793 г биокөмір алынды, бұл 29% өнімділікті білдіреді. Ал қант қызылшасынан 10 г бастапқы массаға 1,2728 г биокөмір алынған, бұл 13% өнімділікті көрсетеді.

Топырақ сыналасын алу. Зерттеу жұмысы үшін топырақ сынашалары ағынды суларды тазарту аймағынан (Аса), ауыр металдармен ластануы ықтимал негізгі учаскелерден алынды. Сынамалар 0-30 см тереңдіктен, аралықпен бірнеше нүктеден алынып, біртекті үлгі алу үшін араластырылды. Топырақ сынашалары полиэтилен пакеттерге салынып, зертханаға жеткізілгенге дейін салқын жерде сақталды. Кейін зертханада топырақ кептіріліп, електен өткізіліп, ауыр металдардың мөлшерін анықтауға және биочармен өндеуге дайындалды.



Сурет 3.Топырақты тазартып, кептіру процесі

Жиналған топырақ үлгілері ауамен құрғатылды, қоқыс пен тастарды кетіру үшін 2 мм електен өткізілді (3-сурет).

Топырақтың ластануын модельдеу. Зерттеу аясында ауыр металмен ластанған топырақтың қалпына келу мүмкіндігін зерттеу үшін алдымен модельдік ластану жағдайы жасалды. Бұл мақсатта қорғасын (Pb) иондары пайдаланылып, зертханалық жағдайда топырақтың қорғасынмен ластануын модельдеу тәжірибесі жүргізілді.

Қорғасын иондарының мөлшері атомдық-эмиссиялық спектрометрия (АЭС) әдісімен анықталды. Бұл әдіс топырақ құрамындағы металл иондарының концентрациясын жоғары дәлдікпен және сенімділікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Талдау нәтижелері мг/кг бірлігінде көрсетілді.

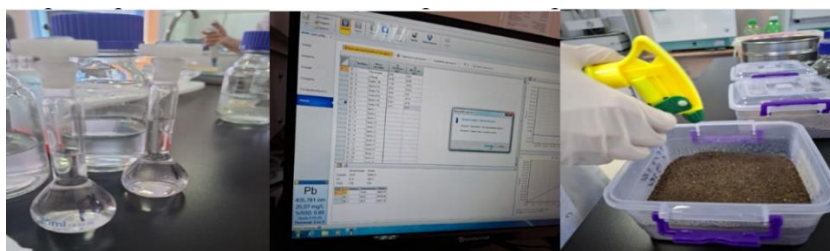
Барлық сынашалар үш қайталауда жүргізілді, нәтижелердің орташа мәндері мен стандартты ауытқулары есептелді. Бұл зерттеу нәтижелерінің сенімділігі мен статистикалық дәлдігін қамтамасыз етті. Сонымен қатар, бақылау тобы ретінде биокөмір енгізілмеген ластанған топырақ үлгісі пайдаланылды. Аталған әдіс ауыр металдардың (қорғасын) биожетімділік деңгейінің өзгеруін бақылауға, сондай-ақ биокөмірдің ауыр металдарды сорбциялаудағы тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді.

Ауыр металдардың концентрациясын анықтау нәтижелері биокөмірдің топырақтағы қорғасын иондарын тиімді түрде азайта алатынын көрсетті. Бұл әдіс топырақтың экологиялық жағдайын жақсартуға және ауыр металдармен ластанған аумақтарды қалпына келтіруге арналған перспективалы шешімдердің бірі ретінде қарастырылады.

Тәжірибе үшін біртекті құрғақ топырақ үлгілері 500 грамм мөлшерінде үш пластик контейнерге (контрольді түрде) өлшеніп салынды. Бұл үлгілер алдын ала електен өткізілген және органикалық қалдықтардан тазартылған болатын. Топырақтың физикалық-химиялық қасиеттері ұқсас болуы модельдің біркелкілігін қамтамасыз етті.

Ластану процесін жүзеге асыру үшін қорғасын нитраты $Pb(NO_3)_2$ ерітіндісі дайындалды. Дәл өлшенген 0,0567 грамм қорғасын нитраты және 125 мл дистилденген суда толық ерітіліп, біртекті ерітінді алынды.

Бұл ерітіндінің құрамындағы қорғасын иондарының концентрациясы атомдық-эмиссиялық спектрометрия (АЭС) көмегімен анықталды. Өлшеу нәтижесінде қорғасын иондарының концентрациясы 200 мг/л шамасында болғаны расталды (4-сурет). Бұл көрсеткіш нақты өндірістік немесе коммуналдық ағынды суларда кездесетін ауыр металдар мөлшеріне жақын, сондықтан тәжірибе нақты жағдайларға барынша сәйкес келетіндей ұйымдастырылды.



Сурет 4. Топырақты қорғасын нитраты ерітіндісімен ластау процесі

Алынған ерітінді бірдей көлемде әр контейнерге төгіліп, топырақпен мұқият араластырылды. Араластыру барысында қорғасын иондарының топырақ массасына біркелкі таралуы қамтамасыз етілді. Ластанған топырақ үлгілері 48 сағат бойы бөлме температурасында (шамамен 22-25°C) тұрақтануға қалдырылды. Бұл уақыт аралығында қорғасын иондары топырақ бөлшектерімен физика-химиялық өзара әрекетке түсіп, олардың сорбциялануы және потенциалды биожетімділігі қалыптасуына мүмкіндік берілді.

Осылайша, жасанды түрде қорғасынмен ластанған топырақ үлгілері алынып, олар ары қарай биочардың әсерін зерттеу үшін қолданылды. Бұл әдіс ластанудың нақты деңгейін бақылауға мүмкіндік беріп, биочардың ауыр металдардың қозғалғыштығы мен биожетімділігіне әсерін тиімді түрде бағалауға жағдай жасады.

Топырақтан ауыр металдарды биокөмірмен кетіру. Топырақтағы ауыр металдарды, нақтырақ айтқанда қорғасын иондарын жою мақсатында биокөмір қолдану тәжірибесі жүргізілді. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – әртүрлі мөлшерде енгізілген биокөмірдің ауыр металдардың концентрациясын төмендетудегі тиімділігін бағалау [7].

Тәжірибе барысында алдын ала қорғасын нитраты ерітіндісімен ластанған топырақ үлгілері пайдаланылды. Әрқайсысы 500 грамм болатын

үш контейнерге сәйкесінше 1%, 5% және 10% мөлшерінде биокөмір қосылды. Яғни, әр контейнерге тиісінше 5 г, 25 г және 50 г биокөмір салынды. Биокөмір топырақпен мұқият араластырылып, біртекті қоспа алынды (5-сурет).



Сурет 5. Қорғасынмен ластанған топыраққа биокөмірді әртүрлі мөлшерде (5 г, 25 г, 50 г) қосып, біркелкі араластыру арқылы эксперименттік үлгілер дайындау сәті

Биокөмірдің ауыр металдарды сорбциялау және топырақпен әрекеттесу үдерісі белгілі бір уақытты қажет ететіндіктен, барлық үлгілер инкубациялық кезеңге қойылды. Инкубация бөлме температурасында, ылғалдылық сақталған жағдайда, жабық контейнерлерде жүргізілді. Бұл кезеңде қорғасынмен никельдің топырақтан биокөмірге адсорбциялану үдерісі жүрді.

2 апта уақыт аралығында әр контейнерден топырақ үлгілері алынып, оның құрамындағы ауыр металдардың концентрациясы анықталды. Ол үшін бізде элементті анализ әдісі қолданылды. Бұл әдіс қорғасын иондарының мөлшерін жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді.

Тәжірибе нәтижелері әртүрлі мөлшерде енгізілген биокөмірдің қорғасынның биожетімділігін төмендету дәрежесін салыстыруға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, уақыт өте келе ауыр металдардың топырақтағы концентрациясының өзгеру динамикасын анықтап, биокөмірдің ұзақ мерзімді әсері бағаланды. Инкубациялық эксперименттің соңында топырақ үлгілерін жинап, кептіріп, кейінгі химиялық талдаулар үшін електен өткізілді.

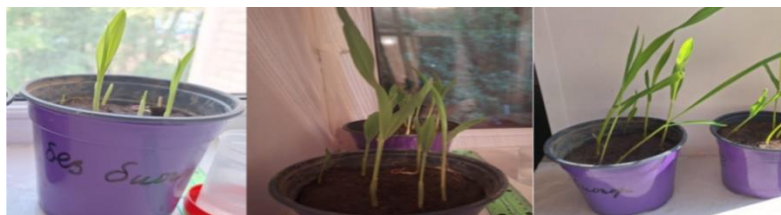
Жүгері өсіру тәжірибесі арқылы биокөмірдің әсерін бағалау. Жүгерінің өсуі мен дамуының әртүрлі органикалық қоспалардың әсерлері бағаланды. Эксперимент үш нұсқаны қамтыды: биочармен, биочарсыз және биогумуспен. Бұл тәсіл органикалық тыңайтқыштардың өсімдіктің табиғи өсу жағдайларына қатысты тиімділігін объективті түрде салыстыруға мүмкіндік береді [8]. Тауық көңінен және қант қызылшасының қалдықтарынан жасалған биочар арқылы массасы 500 гр топыраққа 10% мөлшерінде енгізілді (7, 8, 9-суреттер).



Сурет 7. Қант қызылшасынан жасалған биокөмірмен өсірілген жүгері



Сурет 8. Тауық көңінен жасалған биокөмірмен өсірілген жүгері



Сурет 9. Биокөмірсіз өсірілген жүгері

Дайындалған субстраттардың әрқайсысына жүгері тұқымдары отырғызылды. Өсімдіктер бақыланатын жағдайларда (температура, ылғалдылық, жарық) 2-3 апта бойы өсірілді. Өсімдіктердің өсуі алғашқы бес күнде күн сайын, содан кейін эксперимент аяқталғанға дейінгі аралықта тіркелді.

Вегетациялық кезеңнің бастапқы кезеңдерінде жүгері келесі өсу динамикасын 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

Жүгерінің өсу көрсеткіштері

| Күндік бақылау | Биочармен, см | Биочарсыз, см | Биогумус, см |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 күн | 0,5 | 0,5 | 0,7 |
| 2 күн | 1,0 | 1 | 1,5 |
| 3 күн | 2,3 | 1,5 | 3 |
| 4 күн | 4,0 | 3 | 4 |
| 5 күн | 8,5 | 6 | 6 |
| 7(1 апта) күн | 12 | 10 | 12 |
| 2-3 апта | 17 | 15 | 17 |

Екінші немесе үшінші аптаның соңында өсімдіктердің биіктігі орта есеппен 15 см-ге жетті және ең қарқынды өсу үшінші күннен бесінші күнге дейін байқалды. Алдын ала нәтижелер органикалық тыңайтқыштардың, әсіресе биочардың жүгерінің ерте өсу кезеңдеріне оң әсерін көрсетеді. Нұсқалар арасындағы айырмашылықтарды егжей-тегжейлі сандық талдау зерттеудің келесі кезеңінде жүзеге асырылады.

Биочар топырақтың физикалық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі, оның ішінде – суды сақтау қабілетін, аэрацияны, буферлік сыйымдылықты және органикалық көміртекті арттырады. Онда бастапқы шикізатта кездесетін минералды элементтер, әсіресе азот, фосфор және калий сақталады. Тауық көңі биочарға жоғары тағамдық құндылық береді, ал қант қызылшасының қалдықтары топырақ микрофлорасының белсендірілуіне ықпал ететін сіңімді көміртектің көзі болып табылады. Биочар сонымен қатар

топырақтың қышқылдылығын төмендетіп, ауыр металдар мен улы қосылыстарды сорып, өсімдіктердің тамыр жүйесі үшін қолайлы орта жасай алады. Екінші нұсқада топырақ биогумус (органикалық қалдықтарды өңдейтін қалдықтар) тыңайтқышымен араластырылды (10-сурет).



Сурет 10. Биогумус арқылы өсірілген жүгері

Биогумус құрамында көптеген макро және микроэлементтер, сонымен қатар биологиялық белсенді заттар, соның ішінде гумин қышқылдары, амин қышқылдары және т.б. заттар бар. Бұл қосылыстар өсімдікті қоректендіріп қана қоймай, сонымен қатар тамыр жүйесінің белсенділігін арттыру арқылы өсуді ынталандырады. Сонымен қатар, биогумус топырақтың агрофизикалық сипаттамаларын жақсартады, оның құрылымын, ылғалдың сақталуын және ауа алмасуын арттырады. Бұл пайдалы микробиотаның өсуіне ықпал етеді және өсімдіктердің иммунитетін нығайтады, олардың ауруларға бейімділігін төмендетеді.

Бакылау тобы органикалық немесе минералды тыңайтқыштар қолданылмаған жағдайда жүгерінің өсуінің негізгі параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл опция биочар мен биогумустың нақты әсерін нақты анықтаудың кілті болып табылады, өйткені ол сыртқы факторлардың әсерін болдырмайды. Бакылау топырағындағы өсімдіктердің өсуі қолданылатын қоспалардың тиімділігін бағалау үшін салыстырмалы нұсқаулық болып табылады.

Мұндай салыстырмалы талдауды жүргізу әртүрлі органикалық тыңайтқыштардың әсер ету механизмдерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Биочар топырақ құрылымын тұрақтандыру және қоректік заттарды сақтау арқылы тұрақты егіншілікке ықпал ететін ұзақ мерзімді топырақ амендменті ретінде қарастырылады. Биогумус керісінше, жоғары биологиялық белсенділік арқылы жылдам әсер етті. Бакылау нұсқасының болуы алынған деректерді объективті түсіндіруге мүмкіндік береді және органикалық қоспалардың жүгерінің өсуіне оң әсері туралы гипотезаны растайды.

Тауық көңінен алынған және қант қызылшасының биочарымен салыстырғанда вегетациялық кезеңнің соңғы кезеңдерінде белсенді өсуге ықпал етті. Бұл бастапқы шикізаттағы азот пен микроэлементтердің жоғары болуына байланысты болуы мүмкін. Биогумус алғашқы күндерде ең жылдам бастауды қамтамасыз еткенімен, 2-3 аптада биочар нұсқаларында өсімдіктердің өсуі теңестірілді, бұл оның ұзақ және тұрақты әсерін көрсетеді [9].

Жүргізілген эксперимент органикалық тыңайтқыштардың, атап айтқанда, әртүрлі шығу тегі бар биогумус пен биочардың жүгерінің ерте

дамуына оң әсер ететінін көрсетті. Биогумус қолда бар қоректік заттардың жоғары болуына байланысты тез өсуге ықпал етеді, ал биочар топырақтың физикалық қасиеттерін жақсартады және болашақта тұрақты өсуге ықпал етеді. Тыңайтқыштардың әсері тамыр жүйесінің морфологиясына да әсер етті, бұл олардың өсімдіктің тамыр бөлігінде ғана емес, сонымен қатар жер асты биомассасының дамуында да тиімділігін арттырады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. ИК спектрінің талдаулары. Қант қызылшасының қалдығынан жасалған биокөмірдің спектріне жалпы талдау жасалынды (2-кесте).

Кесте 2

Қант қызылшасынан жасалған биокөмірдің спектрлік деректері

| № | Басы | Соңы |
|---|--------|--------|
| 1 | 875.72 | 1060.9 |
| 2 | 1473.7 | 1535.4 |
| 3 | 1535.4 | 1597.1 |
| 4 | 1631.8 | 2106.4 |

2-кесте деректері бойынша, 875.72-1060.9 cm^{-1} (C-O, C-O-C созылу тербелісі). Бұл жолақтар целлюлоза мен гемицеллюлозаның ыдырауы нәтижесінде сақталған спирттік және эфирлік байланыстарды (C-O, C-O-C) көрсетеді. Пиролиз температурасы жоғары болса, бұл жолақтар әлсірейді немесе жойылады, бірақ 450°C-тағы процесінде бірақ сақталып қалған.

1535.4 cm^{-1} (C=C ароматикалық сақина тербелісі). Бұл пиктер лигиннің ыдырауынан қалған ароматикалық құрылымдарды білдіреді. Ароматикалық көміртекті сақиналар биочардың графиттену дәрежесін көрсетеді.

1597.1 cm^{-1} (N-H немесе C=O тербелісі). Егер шикізатта азотты қосылыстар аз болса, онда бұл пик карбонилді топтарға (C=O) жатады. Егер қызылша қалдығында ақуыз немесе азотты қосылыстар (мысалы, амидтер) қалған болса, бұл N-H байланысының бар екенін білдіруі мүмкін.

1631.8-2106.4 (C=O, C≡C, C≡N топтары). 1631.8 cm^{-1} – Карбонил (C=O) топтары болуы мүмкін, бұл қалдық карбон қышқылдары мен кетондар екендігін көрсетеді. 2106.4 cm^{-1} – Егер әлсіз болса, бұл ацетиленді (C≡C) немесе циано (C≡N) топтарының болуын білдіреді.



Сурет 11. Қант қызылшасынан жасалған биокөмірдің ИК-спектрлері

Тауық көңінен биокөмірінен жасалған биокөмірдің спектрін жалпы талдау жасалынды.

Кесте 3

Тауық саңырығынан жасалған биокөмірдің спектрлік деректері.

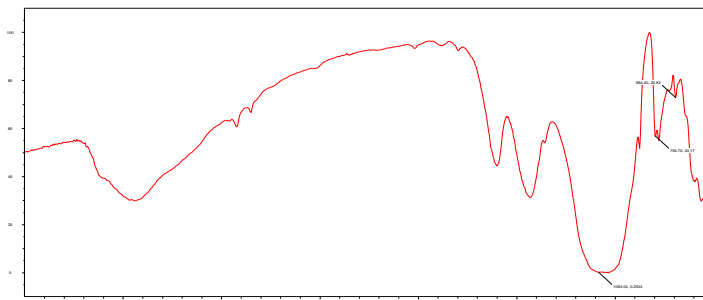
| № | Басы | Соңы |
|----|--------|--------|
| 1 | 613.39 | 694.4 |
| 2 | 694.4 | 725.26 |
| 3 | 725.26 | 775.42 |
| 4 | 794.7 | 875.72 |
| 5 | 875.72 | 960.59 |
| 6 | 1165.1 | 1357.9 |
| 7 | 1357.9 | 1412 |
| 8 | 1473.7 | 1547 |
| 9 | 1547 | 1589.4 |
| 10 | 1797.7 | 2017.6 |

3-кестеде көрсетілген деректер бойынша $1165.1-1357.9 \text{ см}^{-1}$ – органикалық молекулалардың тербелістері: Бұл интервалды органикалық қосылыстардың, әсіресе С-О және С-С байланыстарының тербелістері байқалды. Бұл биочарды органикалық компоненттердің болуы мен термиялық ыдырауы туралы ақпарат береді.

$1357.9-1412 \text{ см}^{-1}$ -ароматикалық құрылымдар: Бұл интервалды С-Н иілу тербелістері байқалады, бұл биочардағы ароматикалық құрылымдардың пайда болуының белгісі болып табылады.

$1547-1589.4 \text{ см}^{-1}$ – Ароматикалық құрылымдар мен графиттік құрылымдар: Бұл интервалдағы пик биочардың құрамындағы графиттік немесе ароматикалық құрылымдардың пайда болуын көрсетеді. Бұл биочардың тұрақтылығын және сапасын арттыратын маңызды белгі.

$1797.7-2017.6 \text{ см}^{-1}$ – С=О байланысының сіңірілуі: Бұл интервалда С=О (көміртек-оттек) байланыстарының жұтылуы байқалады, ол биочардағы оттекті топтардың және олардың реакциялық қабілетін көрсетеді.



Сурет 12. Тауық көңінен жасалған биокөмірдің ИК-спектрлері

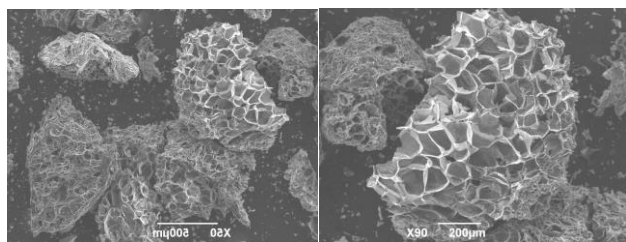
СЭМ биокөмір анализі. СЭМ сканерлейтін электронды микроскопия. СЭМ талдауы – бұл үлгінің беткі рельефінің күрделі, жоғары үлкейтілген кескіндерін шығару үшін бағытталған электронды сәулені қолданатын қуатты зерттеу құралы. Қызығушылық аймағы үлгіде анықталып, СЭМ көмегімен бағаланғаннан кейін, біздің мамандар энергия диффузоры рентгендік спектроскопиясын немесе EDX талдауын қолдана отырып, материалдың егжей-тегжейіне тереңірек ене алады.

Сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен бетті визуалды талдауды жүргізу ластаушы заттарды немесе белгісіз

бөлшектерді, ақаулықтың себебін және материалдар арасындағы өзара әрекеттесуді анықтауға көмектеседі.

Бетті бағалаудан басқа, СЭМ талдауы механикалық тозу сынағы кезінде алынған тозу қалдықтары сияқты бөлшектерді сипаттау үшін қолданылады.

Қант қызылшасының қалдығынан жасалған биокөмір үлгісінің беткі құрылымын өте жоғары үлкейту мен өте жоғары дәлдікпен зерттеу СЭМ (сканерлеуші электронды микроскопия) анализі жасалды. Бұл әдіс материалдың морфологиясын, құрылымдық ерекшеліктерін және химиялық құрамын анықтауға мүмкіндік берді.



Сурет 13. Қант қызылшасынан алынған биочардың СЭМ талдауы

Қант қызылшасынан алынған биочардың СЭМ талдауы (сканерлеуші электронды микроскопия). Суретте биочардың морфологиясын, құрылымын және құрамын қарастуға мүмкіндік беретін әртүрлі үлкейтулердегі үлгі бетінің суреттері көрсетілген. Оларға талдау жасап өтсек:

X1,000 (5мкм): Кеукті түзілімдер көрінеді, бұл жоғары микро кеуктілікті көрсетеді. Бұл құрылым адсорбция үшін маңызды болып табылатын жоғары меншікті бетке ықпал етеді.

X3,000 (5мкм): Кеукті бетке егжей-тегжейлі шолу. Өлшемдерді 1 мкм-ге дейін бірнеше микропоралар бар.

X90 (200 мкм): Жалпы макроқұрылымды көрсетеді. Қант қызылшасының жасушалық құрылымының тұқым қуалайтын үлкен жасушалар көрінеді.

X10,000 (1мкм): Үлкейту наноқұрылымдық бөлшектерді көрсетеді. Кеуктердің шеттері мен беті тегіс емес көміртекті құрылымдардың болуы айқын көрінеді.

X50 (500 мкм): Макроскопиялық көрініс: кеукті арналар мен жасушалық құрылым көрсетіледі. Өсімдіктің тамырлы тініне ұқсайды.

X100 (100 мкм): Алдыңғысынан нақтылау: кеуктер мен олардың геометриясы айқынырақ байқалады.

X100 (100 мкм): Құрылымның гетерогенділігі көрінеді.

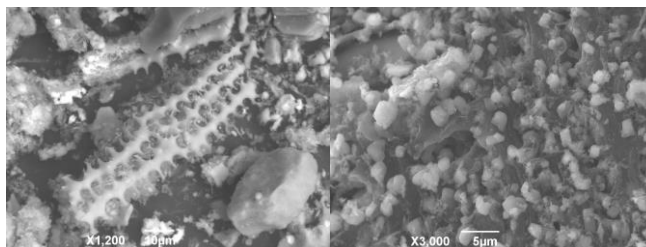
X200 (100 мкм): Кеукті құрылымның жүйелігін растайды. Тері тесігі сопақша немесе тұрақты емес пішінді, бұл өсімдік тектес биочарларға тән. Биочардың жақсы сүзу қасиеттері бар деп болжауға болады.

X300 (50 мкм): Үлкейту тері тесігінің тығыздығын және олардың таралуын көрсетеді. Жоғары кеуекаралық аймақтың белгісі.

X500 (50 мкм): Бұл сериядағы ең жоғары үлкейту (X10,000-нан кейін), қабатты құрылым айқын көрінеді. Мүмкін көміртекті наноқұрылымдар (ламелалар, жасуша қабырғаларының фрагменттері).

Қант қызылшасының биочары барлық деңгейлерде айқын кеуктілікті көрсетеді (макро, микро және наноөлшемдер). Бұл құрылым оны қолдануға

жарамды етеді:суды/топырақты тазарту (ауыр металдардың, токсиндердің адсорбциясы); ауыл шаруашылығы (топырақтың қасиеттерін жақсарту); катализаторлардың тасымалдаушысы ретінде және т.б. жағдайларда қолдануға жарамды.



Сурет 14. Тауық көңінен жасалған биокөмірдің СЭМ талдауы

Тауық көңінен жасалған биочар (биокөмір) сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) көмегімен алынған X1000 үлкейтілген және 10 мкм масштабты үлгісі. Суретте гетерогенді құрылымды ажыратуға болады: кеуекті фрагменттер, сондай-ақ ұсақ және үлкен бөлшектер бар. Бұл органикалық қалдықтардан алынған биочарға тән.

Келесі суретте X1200 (масштабы 10 мкм) үлкейту қызықты формауияны көрсетеді – тұрақты саңылаулары бар құрылымдық элемент. Бұл биологиялық құрылымның қалдығы болуы мүмкін, мысалы, жасуша қабырғасының фрагменті немесе диатомының микроскопиялық қабығы немесе пиролизден аман қалған басқа микроорганизм.

X2000 үлкейту кезінде сурет көрсетілген. Бұл үлкейту деңгейі беттің нәзік морфологиясын байқайға мүмкіндік береді. Беті кристалды және аморфты фрагменттермен жабылған, мүмкін органикалық заттар мен минералды тұздардың термиялық ыдырау өнімдері.

Өлшем шкласы 5 мкм X3000 үлкейтілген сурет. Бұл беттің микроқұрылымын көруге мүмкіндік береді. Құрылымы бойынша: жарық қосындылары фосфаттар, карбонаттар немесе металл тұздары сияқты минералды қалдықтар болуы мүмкін. Қараңғы жерлер мен кеуекті матрица – көміртекті фаза, яғни органикалық материалдың пиролизінен қалған биочардың өзі.

X10,000 үлкейту кезінде түсірілген сурет. Масштабты сызғыш 1 мкм ұзындығын көрсетеді, бұл наноөлшемді бет құрылымын қарастыруға мүмкіндік береді. Жұқа түйіршікті немесе торлы морфологиясы бар аймақтар көрінеді.

Бұл салыстырмалы түрде төмен үлкейту X5 және 500 мкм масштабтағы сурет. Құрылым бос және гетерогенді болып көрінеді, бұл биочарға тән, әсіресе бейорганикалық қалдықтары жоғары қоқыстардан алынған. Өткір және дөңгелек пішіндерді ажыратуға болады. Мүмкін көміртекті фрагменттер мен минералды қоспалардың қоспасы.

X100 және 100 масштабтағы суреті. Бөлшектердің беткі құрылымы әртүрлі: тегіс және өрескел қосындылар бар, бұл органикалық және бейорганикалық құрамдағы айырмашылықтарға байланысты болуы мүмкін.

X200 және 100 мкм масштабтағы сурет. Ол алдыңғы X100-ге қарағанда анағұрлым егжей-тегжейлі көрініс. Бөлшектердің пішіні мен құрылымдары

айқынырақ көрінеді. Пиролизден кейінгі органикалық қалдықтарға тән тығыз агрегаттар да, борпылдақ, кеуекті құрылымдарды байқауға болады.

X500 және 50 мкм масштабтағы сурет. Орталық фрагмент қабаты талшықты құрылымға ие, мүмкін органикалық шығу тегі тіндердің қалдықтары болуы мүмкін.

Элементтік анализ. Эксперименттің мақсаты топырақтағы қорғасынның (Pb) жылжымалы түрлеріне әртүрлі биочар құрамының әсерін зерттеу болды (4-кесте).

Кесте 4

Топырақтағы қорғасынның жылжымалы формаларының элементтік анализі

| № п/п | Іріктеу орны | Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг / кг |
|----------|---|---|
| | | Қорғасын |
| 1 | Қант қызылша биочар 1% | 6,4 |
| 2 | Қант қызылша 5% | 5,5 |
| 3 | Қант қызылша 10% | 5,0 |
| 4 | Топырақтағы қорғасынның бастапқы концентрациясы | 3,1 |
| 5 | Ауыр металмен ластанған топырақ | 5,42 |

Эксперименттің басында қорғасынның бастапқы концентрациясы 3,1 мг/кг болатын жасанды ластанған топырақ дайындалды. бұл концентрация Рb келесі түрінде қолдану арқылы алынды:

– 500 г құрғақ топырақ құрамында 39,96 мг қорғасын бар 125 мл ерітіндімен араластырылды, бұл 200 мг/л ерітіндінің концентрациясына сәйкес келеді;

– содан кейін топырақ үлгілеріне биочардың әртүрлі мөлшері қосылды: топырақ массасының 1%, 5% және 10%;

– үлгілер 30 күн ішінде инкубацияланды.

Қорғасын мен биочардың әртүрлі дозаларын қосқаннан кейін, Рb жылжымалы формаларының мөлшері бастапқы деңгеймен салыстырғанда өсті. Алайда, биочар дозасының 10%-ға дейін жоғарылауымен қорғасынның жылжымалы формаларының төмендеуі байқалады, бұл биочардың сорбенттік қасиеттерін және оның топырақтағы ауыр металдардың қозғалғыштығын төмендету қабілетін көрсетеді.

Қорытынды. Зерттелген ғылыми жұмыста ауыр металдармен (Рb және Ni) ластанған топырақты тазарту мақсатында биочарды қолданудың тиімділігі зерттелді. Жүргізілген тәжірибелер мен талдаулар нәтижесінде биочардың ауыр металдарды адсорбциялау қасиеті жоғары екені оның топырақтың экологиялық жағдайын жақсартуға оң ықпал ететіні анықталды. Сонымен қатар, биочардың жүгері өсімдігінің өсуіне жағымды әсер ететіні және өсімдіктің биомассасын арттыратыны байқалды.

Зерттеу барысында пиролиз арқылы алынған биочардың үлестік мөлшері топыраққа енгізілгенде, ауыр металдардың жылжымалы формаларының концентрациясы азайып, өсімдіктің сол элементтерді сіңіруі төмендегені байқалды. Бұл биочардың фитоуындылықты төмендету қасиетін көрсетеді. Сондай-ақ, биогумуспен салыстырғанда биочардың ұзақ мерзімді тұрақтылық пен металдарды бекіту тиімділігі жоғарырақ болды.

Жұмыста қолданылған ИК-спектроскопия мен сканерлік электронды микроскоп (СЭМ) әдістері биочардың құрылымдық және химиялық

ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік берді. Бұл зерттеудің ғылыми құндылығын арттырып, алынған нәтижелерді болашақта кең ауқымды агроэкологиялық тәжірибелерде пайдалануға жол ашты.

Қорытындылай келе, биочарды тоыпраққа енгізу ауыр металдармен ластанған жерлерді қалпына келтірудің экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі тиімді әдісі бола алады. Алынған нәтижелер биологиялық ремедиация саласындағы зерттеулерді одан әрі тиімді әдісі бола алады. Алынған нәтижелер биологиялық ремедиация саласындағы зерттеулерді одан әрі тереңдетуге және биочардың түрлі типтерін тәжірибеде кеңінен қолдануға негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Джувеликян, Х.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв [Текст]: учеб.-метод. пособие / Х.А. Джувеликян, Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. – Воронеж: ВГУ, Полиграфический центр ВГУ, 2009. – 4 с.
2. Костина, Л.В. Методы очистки загрязненных тяжелыми металлами почв с использованием (био)сурфактантов [Текст] / Л.В. Костина, М.С. Куюкина, И.Б. Ившина // Вестник Пермского университета. – 2009. – № 10. – С. 95-110.
3. Глазунова, Д.М. Оценка физико-химических характеристик биочара, полученного при разных режимах пиролиза [Текст] / Д.М. Глазунова, И.Р. Ахметгараева. – М.: ББК 20, 18 М77, 38 с.
4. Жандосова, Г.О. Жамбыл облысының тиімді экономикалық географиялық ресурстық әлеуетінің негізінде қант қызылшасы шаруашылығын кластерлік жүйеде дамытудың жолдары [Текст] / Г.О. Жандосова, Г.М. Сабденалиева, А.К. Куспанова // География и водные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 64-73.
5. Alaboudi, K.A., Ahmed B., Brodie G. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil // Annals of Agricultural Sciences. – 2019. – Vol. 64. – No. 1. – P. 95-102.
6. Ахмед, А.А. Возможность использования биоугля, полученного из органических отходов, для стабилизации тяжелых металлов в почве, загрязненной металлургическим заводом [Текст] / А.А. Ахмед, Цзяньхуа Ли, М.Х. Х. Аббас // Хемосфера. – 2014. – Т. 117. – С. 66-71.
7. Шафигуллина, Л.Р. Различные аспекты применения биочара [Текст] / Л.Р. Шафигуллина // Вестник магистратуры. – 2020. – № 5-5 (104). – С. 7-10.
8. Баздырев, Г.И. Тяжелые металлы в системе почва–растение на склоновых землях [Текст] / Г.И. Баздырев, Н.Б. Пронина, Д.Р. Родригес // Известия ТСХА. – 2001. – Вып. 2. – С. 81-104.
9. Крылова, А.Ю. Получение биоугля пиролизом биомассы [Текст] / А.Ю. Крылова, Е.Г. Горлов, А.В. Шумовский // Химия твердого топлива. – 2019. – № 6. – С. 55-64.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24992867 «Қазақстанның су шаруашылығын және қайта өңдеу өнеркәсібін дамыту мен басқаруға арналған ресурсты үнемдейтін технологияларды әзірлеу, инновациялық инжинирингтік орталық құру» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 04.08.25 түсті, 20.01.26 қабылданды.

Э.Н. Абдулова¹, Ұ.Ф. Қанатбек², Е.Қ. Реймбаев², А.А. Куртебаева²,
А.М. Серикбаева¹, С.А. Орынбаев², Т.Г. Хелдер³, М.С. Калмаханова²

¹Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

²Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

³Политехнический институт Брагансы, Браганса, Португалия

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ПО РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЗОНЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Загрязнение почв тяжёлыми металлами является одной из наиболее актуальных экологических проблем современного общества. В связи с этим целью данного исследования является очистка почв, загрязнённых тяжёлыми металлами (Ni и Pb), с использованием биоугля, а также оценка влияния биоугля на почву. В качестве сырья для получения биоугля использовались сельскохозяйственные отходы (свекловичный жом, куриный помёт). Биоуголь был получен методом пиролиза при температуре 450°C в течение 1 часа. Изучены физико-химические свойства полученного биоугля (ИК-спектроскопия, СЭМ). Был проведён процесс моделирования загрязнения почвы тяжёлыми металлами. Для этого был приготовлен раствор $Pb(NO_3)_2$ с концентрацией 200 мг/л, который вносился в 500 г почвы, после чего в почву добавлялся биоуголь из свекловичного жома в количестве 1%, 5% и 10%. По результатам 30-дневного инкубационного периода, на основании элементного анализа было выявлено снижение концентрации тяжёлых металлов. Влияние биоугля на почву дополнительно оценивалось методом посадки кукурузы.

Ключевые слова: биоуголь, пиролиз, почва, атомно-эмиссионная спектроскопия, ИК-спектр, тяжёлые металлы, элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

E.N. Abdulova¹, U.G. Kanatbek², E.K. Reimbayev², A.A. Kurtebayeva²,
A.M. Serikbayeva¹, S.A. Orynbayev², T.G. Helder³, M.S. Kalmakhanova²

¹M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

²M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

³Polytechnic Institute of Bragança, Bragança, Portugal

DEVELOPMENT OF SOLUTIONS FOR THE REMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS IN THE WASTEWATER TREATMENT AREA

Abstract. Soil contamination with heavy metals is one of the most urgent environmental problems faced by modern society. Therefore, the aim of this study is to remediate soils contaminated with heavy metals (Ni and Pb) using biochar and to evaluate the effect of biochar on soil properties. Agricultural wastes (sugar beet pulp and chicken manure) were used as raw materials for biochar production. Biochar was obtained through a pyrolysis process at 450°C for 1 hour. The physicochemical properties of the obtained biochar (FTIR, SEM) were analyzed. A soil contamination modeling process was conducted: a $Pb(NO_3)_2$ solution with a concentration of 200 mg/L was prepared and introduced into 500 g of soil, after which biochar from sugar beet pulp was added at rates of 1%, 5%, and 10%. After a 30-day incubation period, elemental analysis showed changes in the concentration of heavy metals. The effect of biochar on soil was additionally evaluated by planting maize.

Keywords: biochar, pyrolysis, soil, atomic emission spectroscopy, FTIR, heavy metals, elemental analysis, scanning electron microscopy (SEM).

References

1. Dzhuyvelikyan H.A., Shcheglov D.I., Gorbunova N.S. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Sposoby kontrolya i normirovaniya zagryaznennykh pochv [Soil

- contamination with heavy metals. Methods of control and regulation of contaminated soils]: study guide. – Voronezh: VGU, Printing Center VGU, 2009. – 4 p. [in Russian].
2. Kostina L.V., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. Metody ochistki zagryaznennykh tyazhelymi metallami pochv s ispol'zovaniem (bio)surfaktantov [Methods of cleaning soils contaminated with heavy metals using (bio)surfactants] // Bulletin of Perm University. – 2009. – No. 10. – P. 95-110. [in Russian].
 3. Glazunova D.M., Akhmetgaraeva I.R. Otsenka fiziko-khimicheskikh kharakteristik biochara, poluchennogo pri raznykh rezhimakh piroliza [Evaluation of physicochemical characteristics of biochar obtained under different pyrolysis conditions]. – Moscow: BBK 20, 18 M77, 38 p. [in Russian].
 4. Zhandosova G.O., Sabdenalieva G.M., Kuspanova A.K. Zhambyl oblysynyng tiimdi ekonomikalyk geografialyk resurstyk aleyettygyn negizinde kant kyzylshasy sharuashylyghyn klasterlik zhuide damytudyn zholdary [Development of the sugar beet industry in a cluster system based on the effective economic and geographical resource potential of Zhambyl region] // Geography and Water Resources. – 2021. – No. 1. – P. 64-73. [in Kazakh].
 5. Alaboudi K.A., Ahmed B., Brodie G. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil // Annals of Agricultural Sciences. – 2019. – Vol. 64, No. 1. – P. 95-102.
 6. Ahmed A.A., Li J., Abbas M.H.H. Vozmozhnost' ispol'zovaniya biouglya, poluchennogo iz organicheskikh otkhodov, dlya stabilizatsii tyazhelykh metallov v pochve, zagryaznennoy metallurgicheskim zavodom [Potential use of biochar derived from organic waste for stabilization of heavy metals in soil contaminated by metallurgical plant] // Chemosphere. – 2014. – Vol. 117. – P. 66-71. – doi:10.1016/j.chemosphere. [in Russian].
 7. Shafigullina L.R. Razlichnye aspekty primeneniya biochara [Various aspects of biochar application] // Bulletin of Master's Program. – 2020. – No. 5-5 (104). – P. 7-10. [in Russian].
 8. Bazdyrev G.I., Pronina N.B., Rodrigues D.R. Tyazhelye metally v sisteme pochva–rastenie na sklonovykh zemlyakh [Heavy metals in the soil–plant system on slope lands] // Izvestiya TSKhA. – 2001. – Issue 2. – P. 81-104. [in Russian].
 9. Krylova A.Yu., Gorlov E.G., Shumovskiy A.V. Poluchenie biouglya pirolizom biomassy [Production of biochar by biomass pyrolysis] // Chemistry of Solid Fuels. – 2019. – No. 6. – P. 55-64. [in Russian].