ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ҒТАМР: 68.05.41
DOI: 10.51886/1999-740X_2026_4_32

Д.А. Досманбетов[1], А.Б. Ибраева[2], Е.М. Каспакбаев[1]*, Р.С. Ахметов[1], Ж.С. Дукенов[1], Н.С. Келгенбаев[3], Ж.К. Ракымбеков[1], С.У. Косанов[4], М.А. Уашев[1]

АРАЛ ТЕҢІЗІНІҢ ҚҰРҒАҒАН ТАБАНЫНДАҒЫ ТӘЖІРИБЕЛІК УЧАСКЕЛЕРДЕГІ ТОПЫРАҚ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ

[1]«Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Алматы филиалы, 050050, Алматы, Жарсуат көшесі, 17а, Қазақстан

**e-mail: kaspakbaeverganat1971@yandex.ru*

[2]«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8, Қазақстан

[3]«Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Батыс Қазақстан филиалы, 030006, Алматы, Жургенев көшесі, 169, Қазақстан

[4]«Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Қызылорда филиалы, 120000, Алматы, Абай даңғылы, 37/4, Қазақстан

Аңдатпа. Құрғақ климат пен табиғи ландшафттардың өзгеруі жағдайында Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы топырақтың су режимін зерттеу ерекше өзекті мәселе, мұнда ылғалдың жетіспеушілігі тұрақты орман екпелерін қалыптастыруда негізгі шектеуші факторларының бірі болып табылады. Топырақтағы ылғал топырақтың түзілу процестерінің бағытын, өсімдіктердің өсуі мен даму жағдайларын, сонымен қатар су құрғағаннан кейінгі (постаквалды) аумақтардағы орман мелиорациялық іс-шаралардың тиімділігін анықтайды. Орман өсіруге жарамдылық дәрежесіне қарай Арал теңізінің құрғаған табанының топырақтары үш топқа бөлінеді: қолайлы - құмды және құмайт шөгінділерде қалыптасқан; қанағаттанарлық - эолдық құм жамылғысымен жабылған түптік шөгінділерде қалыптасқан; шартты түрде жарамды - тұздану деңгейі жоғары және су-физикалық қасиеттері қолайлылығы төмен ауыр саздақты және сазды түптік шөгінділерде қалыптасқан топырақтар. Зерттеудің мақсаты орман өсіруге жарамдылығы әртүрлі топтарға жататын Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы тәжірибелік учаскелерде профилі бойынша 1,0 м тереңдікке дейінгі топырақ ылғалдылығының маусымдық динамикасын зерттеу болды. Жұмыстың міндеттеріне көктемгі, жазғы және күзгі кезеңдерде 10 сантиметрлік топырақ қабаттары бойынша ылғалдың таралуын, ылғалдылықтың тік және маусымдық өзгергіштігінің ерекшеліктерін анықтау, сонымен қатар топырақтың су режиміне салыстырмалы талдау жүргізу қарастырылды. Зерттеулер 2026 жылы SM-150t топырақ температурасы мен көлемді ылғалдылығын анықтайтын датчиктің көмегімен жүргізілді. Өлшеулер тереңдігі 1,0 м дейінгі топырақ кескіндерінде үш рет қайталанды, ол алынған деректердің репрезентативтілігін қамтамасыз етті. Ылғалдылықтың максималды мәні көктемде (орта есеппен 61,4%) белгіленді, ал ылғалдың негізгі шоғырлануы еріген судың инфильтрациясына байланысты 30-100 см қабаттарда жүреді. Жазда топырақ ылғалдылығының төмендеуі (51,5% дейін), әсіресе жоғарғы қабаттарда (0-30 см) байқалады, бұл булану процестерінің жоғарылауымен байланысты болып отыр. Күзде ылғалдылықтың орташа жылдық мәні ең төменгі көрсеткіштерге жетті (47,1%), бұл жазғы тапшылықтан кейін ылғал қорының толық қалпына келмеуін көрсетеді. Алынған нәтижелер Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы топырақтың су режимін қалыптастыру туралы түсініктерді кеңейтеді және орман мелиорациялық іс-шараларды негіздеу, ағаш және бұта түрлерін таңдау кезінде, сонымен қатар құрғақшылық жағдайында топырақ-гидрологиялық процестердің мониторингі бағдарламаларын әзірлеу кезінде пайдаланылуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: топырақ ылғалдылығы, Арал теңізінің құрғаған ұлтаны, маусымдық динамика, орман өсіруге жарамдылық, су режимі, топырақ-гидрологиялық жағдайлары.

КІРІСПЕ

Топырақ ылғалдылығы гидрологиялық циклдің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады және биогеохимиялық процестерге, өсімдіктердің өсуіне, жер асты суының динамикасына және экожүйелердің қалыптасуына түбегейлі әсер етеді [1, 2]. Арал теңізінің құрғаған ұлтанының аймағын қамтитын аридті және жартылай аридті климат жағдайында топырақ ылғалдылығының динамикасы екпе ормандар өсіруде және су үнемдеу технологияларының тұрақты дамуы үшін ерекше маңызды болады [3, 4].

XX ғасырда Арал теңізі, ең алдымен, ауыл шаруашылығы жерлерін суару кезінде Амудария мен Сырдария өзендерінің су ресурстарын антропогендік қайта бағыттау әсерінен туындаған күрт өзгерістерге ұшырады. Нәтижесінде су бетінің айтарлықтай төмендеуі байқалды, нәтижесінде топырақ су режимінің, жер асты суы деңгейінің, тұз режимінің және топырақ профилінің құрылымының терең өзгерістері бар су құрғағаннан кейінгі (постаквалды) ландшафттар пайда болды. Осы аумақтарда орман мелиорациялық іс-шараларды өткізу бірқатар гидрологиялық және экологиялық сын-қатерлермен ұштасып отыр.

Топырақ ылғалдылығы өсімдіктердің физиологиялық жағдайына, фотосинтез жылдамдығына, тамыр жүйесінің дамуына, сонымен қатар органикалық заттардың минералдануы мен ыдырау процестеріне тікелей әсер етеді [5, 6]. Ылғалдың жетіспеушілігі екпелердің өнімділігінің төмендеуіне, өсімдіктердің стресстік жағдайларының жоғарылауына және төтенше жағдайларға төзімділігінің төмендеуіне алып келеді [7]. Сондықтан топырақтағы ылғалдың таралуының маусымдық және тік ерекшеліктерін зерттеу орман мелиорациясы мен топырақтану саласындағы ғылыми зерттеулердің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады.

Топырақтың ылғалдылығы айтарлықтай кеңістіктік және уақыттық вариацияларды көрсетеді және ғаламшардағы судың жалпы көлемінің аз ғана бөлігін құраса да, гидрологиялық циклдің негізгі факторларының бірі болып табылады. Топырақ құрлықтағы гидрологиялық циклде негізгі рөл атқарады, жауын-шашынның булану, жер үсті ағыны және терең инфильтрация арасындағы таралуын айтарлықтай анықтайды. Топырақ ылғалдылығы динамикасының тікелей немесе жанама әсері метеорологиялық процестерге, өсімдіктердің өсуіне, топырақ биогеохимиясына, жер асты суының динамикасына және «топырақ–өсімдік–атмосфера» жүйесіндегі қоректік заттар мен ластаушы заттардың алмасуына әсер етеді [8, 9].

Топырақ ылғалдылығының динамикасы өте күрделі процесс болып табылады:

1. физикалық, химиялық және биологиялық процестердің өзара әрекеттесуі;
2. жауын-шашынның біркелкі болмауы, атмосфералық турбуленттілік, радиациялық режим, топырақтың гетерогенді құрылымы мен жер бедері, өсімдік жамылғысы, тамыр жүйесі мен органикалық заттардың болуы сияқты көптеген ауыспалы факторлар;
3. кеңістіктік және уақыттық масштабтардың кең ауқымы [9].

Дегенмен, топырақ ылғалдылығы динамикасының маусымдық өзгергіштігін түсіну су тасқынын болжауға, егіншілік жағдайында ауыл шаруашылығы өндірісінің оңтайлы уақытын анықтауға және топырақ ылғалдылығы мен климаттық динамика арасындағы ықтимал кері байланысты бағалауға мүмкіндік береді [10].

Әр түрлі аймақтарда жүргізілген бірқатар зерттеулер топырақтың физикалық қасиеттерінің жерді пайдалануға және өсімдік жамылғысына айтарлықтай әсер ететіндігін көрсетеді [11].

Топырақтың физикалық сипаттамалары (мысалы, көлемдік тығыздығы, тығыздалу дәрежесі, топырақ агрегаттарының кеуектілігі және тұрақтылығы) топырақтағы судың қозғалысын бақылайды, сондықтан ормандарды кесу мен жерді пайдаланудың өзгеруін бағалау кезінде сезімтал параметрлер болып табылады.

Ылғалдың жетіспеушілігі және оның өсімдіктерге жеткіліксіз болуы фотосинтез қарқындылығын күрт төмендетеді [12]. Топырақтағы ылғалдың жетіспеушілігі жауын-шашын жеткіліксіз болған кезде, сонымен қатар жер асты суларының деңгейі төмендеген кезде пайда болуы мүмкін. Топырақта және сәйкесінше өсімдікте ылғалдың болмауы бірқатар ауруларды тудыруы мүмкін: жапырақтардың кебуі, өсімдіктердің құрап қалуы, ағаштардың өлуі, өсімдіктердің аласа өсуі [13].

Жылдан жылға тұқым өнімінің ауытқуы көбінесе топырақтағы ылғал қорының өсімдіктердің қажеттіліктеріне сәйкес келмеуінен туындайды.

Су топырақтың түзілуінде басты рөл атқарады: минералдардың шайылуы және жаңадан түзілу процестері, гумустың пайда болуы және химиялық реакциялар тек сулы ортада жүреді; топырақ профилінің генетикалық қабаттарының қалыптасуы, топырақта жүретін процестердің динамикасы сумен байланысты. Топырақтағы су терморегуляциялық фактор ретінде де әрекет етеді, топырақтың жылу балансын және оның температуралық режимін анықтайды. Оның топырақ құнарлылығындағы рөлі ерекше [12].

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу объектісі орман өсіруге жарамдылығы бойынша үш топпен ұсынылған Арал теңізінің құрғатылған түбінің топырақтары болып табылады: орман өсіру үшін қолайлы жағдайлармен сипатталатын шөлді құмды және құмды сазды топырақтар; эолды құмды жамылғысы бар теңіз жағалауындағы әлсіз және орташа тұзды топырақтар; сондай-ақ санатқа жататын сортаңды құмды сазды және сазды топырақтар шартты түрде орманға жарамды жерлер.

Топырақ ылғалдылығын анықтауда ғалымдар әр түрлі әдістерді қолданады [14-18]. Ал топырақтың ылғалдылығын анықтаудың негізгі әдісітерінің бірі – термостатты-салмақтық [19]. Осы әдіске сәйкес, АМ-16 топырақ бұрғысымен әр 10 см сайын 50 немесе 100 см тереңдікке дейін топырақ сынамаларын алады. Бұрғы шыныаяғының төменгі бөлігінен топырақты алюминийден жасалған кептіргіш шыныаяқтарға ауыстырып, қақпақтармен жабылады. Сынамаларды алғаннан кейін топырақ салынған шыныаяқтарды станцияға жеткізеді және 0,1 г дәлдікпен өлшенеді. Әр шыныаяқтың нөмірі болады, ал бос шыныаяқтың салмағы арнайы журналға жазылады.

Шыныаяқтарды өлшегеннен кейін қақпағын ашып, термостатқа қойылады және топырақ сынамасы 100-105°С температурада шыныаяқтардың массасы дәйекті өлшеу кезінде 0,1 г-нан аспайтын уақытқа дейін кептіріледі. Әдетте құмдауыт топырақты кептіру ұзақтығы 6-7 сағат, саздауыт топырақты 7-8 сағат. Өлшеу нәтижелері жазылады.

Сипатталып отырған топырақ ылғалдылығын анықтау әдісі өте көп еңбекті қажет етеді, сондықтан радиоактивті изотоптарды қолдануға, топырақтың электр өткізгіштігін өлшеуге, топырақ ылғалының капиллярлық керілуіне және т.б. негізделген әртүрлі жанама әдістер әзірленеді.

Зерттеу нысаны – топырақтың ылғалдылығын өлшейтін аспап. Зерттеу мәні ылғалдылықты өлшеудің жанама әдістері болып табылады, олардың негізінде ылғал өлшегіштер жұмыс істейді [20].

Ылғал өлшегіш – бұл қатты заттың массасының пайыздық қатынасында абсолютті ылғалдылықты анықтау

үшін қолданылатын электронды құрылғы [21].

Біз топырақтың ылғалдылығын анықтауда топырақ-гидрологиялық зерттеулерде кеңінен қолданылатын жоғары сезімтал SM-150T көлемді ылғалдылық датчигінің көмегімен жүзеге асырдық. Бұл құрылғыны пайдалану арқылы топырақ профилінің құрылымын бұзбай, далалық жағдайда ылғалдылықты жедел өлшеуге болады.

Әр учаскеде тереңдігі 1,0 м-ге дейін топырақ кескіндері салынды. Өлшеулер әр кескіннің үш қабырғасынан үш рет қайталанып жүргізілді, бұл алынған мәліметтердің репрезентативтілігін қамтамасыз етті және топырақтың тік және көлденең бағытта біртекті өзгеру әсерін азайтты.

Топырақтың ылғалдылығы топырақ бетінен 100 см тереңдікке дейінгі қалыңдығы 10 см қабаттармен анықталды. Өлшеу көктемгі, жазғы және күзгі кезеңдерде жүргізілді, бұл топырақтың су режимінің жылдық циклінің негізгі кезеңдерін сипаттауға мүмкіндік берді. Алынған мәліметтер сипаттамалық статистика әдістерін қолдана отырып өңделді, әр қабат пен учаске үшін орташа ылғалдылық мәндері есептелді.

Бұл ғылыми-зерттеу жұмыстарының негізгі мақсаты – 2026 жыл ішінде орман өсіруге жарамдылығы бойынша әртүрлі топтарға жататын Арал теңізінің құрғаған ұлтанының тәжірибелік учаскелерінде профилі бойынша 1,0 м тереңдікке дейінгі топырақ ылғалдылығының маусымдық динамикасын зерделеу. Зерттеудің міндеттеріне мыналар: жылдың әр мезгілінде 10 сантиметрлік қабаттар бойынша топырақ ылғалдылығын анықтау, топырақ профилі бойынша ылғалдың таралу ерекшеліктерін анықтау, орман өсіруге жарамдылығы әртүрлі топтары бар жерлерде топырақ ылғалдылығына салыстырмалы талдау жүргізу, топырақтың су режиміне маусымдық факторлардың әсерін бағалау қарастырылды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Топырақтың ылғалдылығы – топырақтың су режимін, топырақ түзілу процестерінің қарқындылығын және өсімдіктердің өсу жағдайларын анықтайтын маңызды көрсеткіш болып табылады. Орман экожүйелері үшін топырақтың ылғалдылығы шешуші рөл атқарады, өйткені ол көбінесе ағаш түрлерінің өсуі мен дамуын, тамыр жүйелерінің қалыптасуын, сондай-ақ екпелердің қолайсыз табиғи факторларға төзімділігін бақылайды.

Орташа жылдық ауа температурасы шамамен +14...+15°C құрайды. Жазғы кезең шілдеде +35...+38°C-қа жететін жоғары температурамен сипатталады, бұл топырақтың жоғарғы қабаттарынан ылғалдың қарқынды буланууына ықпал етеді. Қысқы кезең суық, минималды температурасы -20°C дейін, жауын-шашын мөлшері вегетациялық кезең басталғанға дейін топырақты айтарлықтай ылғалдандыру үшін жеткіліксіз.

Өңірде жауын–шашынның орташа жылдық мөлшері 150-200 мм-ден аспайды, бұл ретте олардың ең көп мөлшері көктем кезеңінде (сәуір-мамыр) түседі, ал жазда және күзде жауын-шашынның айқын тапшылығы байқалады. Жауын-шашынның мұндай біркелкі болмауы топырақтың ылғалдылығының жоғары маусымдық контрастын, әсіресе жоғарғы қабаттарда құрайды және өсімдіктердің топырақтың терең қабаттарына тәуелділігін арттырады.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы жазда 25%-дан қыста 65%-ға дейін өзгереді, бұл топырақтан ылғалдың буланууына тікелей әсер етеді. Құрғақ және желді кезеңдер басым: жылдамдығы 6-8 м/с асатын солтүстік-батыс желдері басым, бұл топырақтың жел эрозиясының жоғарылауына және жер бетінен ылғалдың қосымша жоғалуына ықпал етеді.

Жаз айларында күн радиациясының жоғары деңгейі (650-700 ккал/см^2 дейін) өсімдіктердің булануы мен транспирациясын күшейтеді, бұл топырақтың су балансына тікелей әсер етеді және жоғарғы қабаттардағы ылғалдылықтың төмендеуін жылдамдатады. Маусымдық климаттық көрсеткіштер төменде 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Арал теңізінің құрғатылған түбінің тәжірибелік учаскелеріндегі маусымдық климаттық көрсеткіштер

Көрсеткіш	Көктем	Жаз	Күз	Қыс
Орташа температура, °С	+12…+18	+28…+38	+10…+20	-5…-20—5…-20
Максималды температура, °С	+22…+28	+35…+38	+22…+28	-5…-10
Минималды температура, °С	+3…+8	+18…+22	0…+5	-15…-20
Жауын-шашын мөлшері, мм	50-70	10-20	30-40	20-30
Салыстырмалы ылғалдылық, %	40-55	25-35	30-45	50-65
Желдің орташа жылдамдығы, м/с	4-6	6-8	4-6	3-5
Күн радиациясы, ккал/см^2	400-500	650-700	450-550	200-300

Арал теңізінің құрғаған ұлтанының ауа-райы жағдайлары топырақтың өте құрғақ су режимін құрайды, ол мыналармен сипатталады: жазда ылғалдың жетіспеушілігі; жауын-шашынның төмен деңгейі және олардың маусымдар бойынша жоғары өзгергіштігі; қарқынды булану және транспирация, әсіресе жоғарғы қабаттарда; жел эрозиясы және топырақ бетінен ылғалдың қосымша жоғалуы.

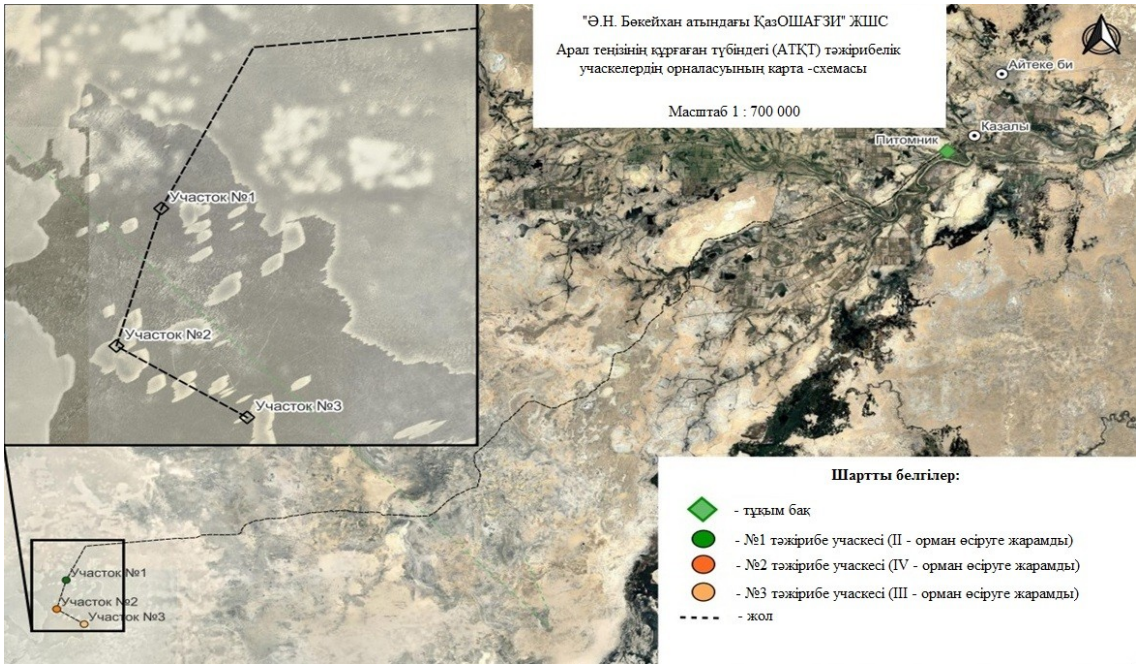
Бұл факторларды орман мелиорациялық іс-шараларды жобалау, тұрақты екпелерді өсіру үшін ағаш және бұта түрлерін таңдау, сонымен қатар құрғақ климат жағдайында топырақ-гидрологиялық процестерді бақылау бағдарламаларын жоспарлау кезінде ескеру қажет.

Орман өсіруге жарамдылығы әртүрлі топтары бар учаскелердегі топырақтың ылғалдылығын талдау ерекше қызығушылық тудырады, өйткені бұл тұрақты екпе ормандарын қалыптастыру кезінде ерекше әсер ететін фактор болып есептеледі. Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы тәжірибелік учаскелердің топырақ-гидрологиялық жағдайларының әртүрлі болуымен сипатталады, бұл ылғалдың жыл мезгілдеріне де, топырақ профилінің тереңдігіне де таралуын егжей-тегжейлі зерттеуді қажет етеді.

Зерттеулер 2026 жылы бір табиғи-климаттық аймақ шегінде орналасқан Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы тәжірибелік учаскелерде жүргізілді. Таңдалған учаскелер орман өсіруге жарамдылық тобы мен топырақ-гидрологиялық жағдайлары бойынша ерекшеленеді, бұл топырақтың су режимін салыстырмалы талдауға мүмкіндік берді.

Зерттеуге үш тәжірибелік учаске енгізілді: №1 учаске – орман өсіруге жарамдылығы бойынша 2-топ; №2 учаске – орман өсіруге жарамдылығы бойынша 4-топ; №3 учаске – орман өсіруге жарамдылығы бойынша 3-топ (сурет 1).

Топырақ ылғалдылығының маусымдық динамикасын зерттеу су режимінің ағымдағы жағдайын бағалауға ғана емес, сонымен қатар орман екпелерінің өнімділігін болжау, орман шаруашылығы іс-шараларын жоспарлау және аумақтардың орман жарамдылығын арттыру жөніндегі шараларды негіздеу кезінде алынған деректерді пайдалануға мүмкіндік береді.



Сурет 1 – Арал теңізінің құрғаған ұлтанында тәжірибелік учаскелердің орналасуы

Арал теңізінің құрғаған ұлтанының тәжірибелік учаскелеріндегі топырақ ылғалдылығын зерттеу нәтижелері 2-кестеде және 2-суретте көрсетілген. Деректерді талдау арқылы топырақ ылғалдылығының жылдың маусымына байланысты профиль бойынша тік бағытта да және уақыт бойынша да өзгеретінін көрсетті.

2-кестеде үш маусымда (көктем, жаз, күз) топырағы орман өсіруге жарамдылығы бойынша әртүрлі топтарда (2, 4 және 3) орналасқан үш учаскедегі топырақтың ылғалдылығы (%) туралы мәліметтер келтірілген. Өлшеу топырақтың қабаттары бойынша 1 метр тереңдікке дейін 10 см қадаммен жүргізілді. Сондай-ақ әр маусым үшін жер асты суының орташа деңгейі көрсетілген.

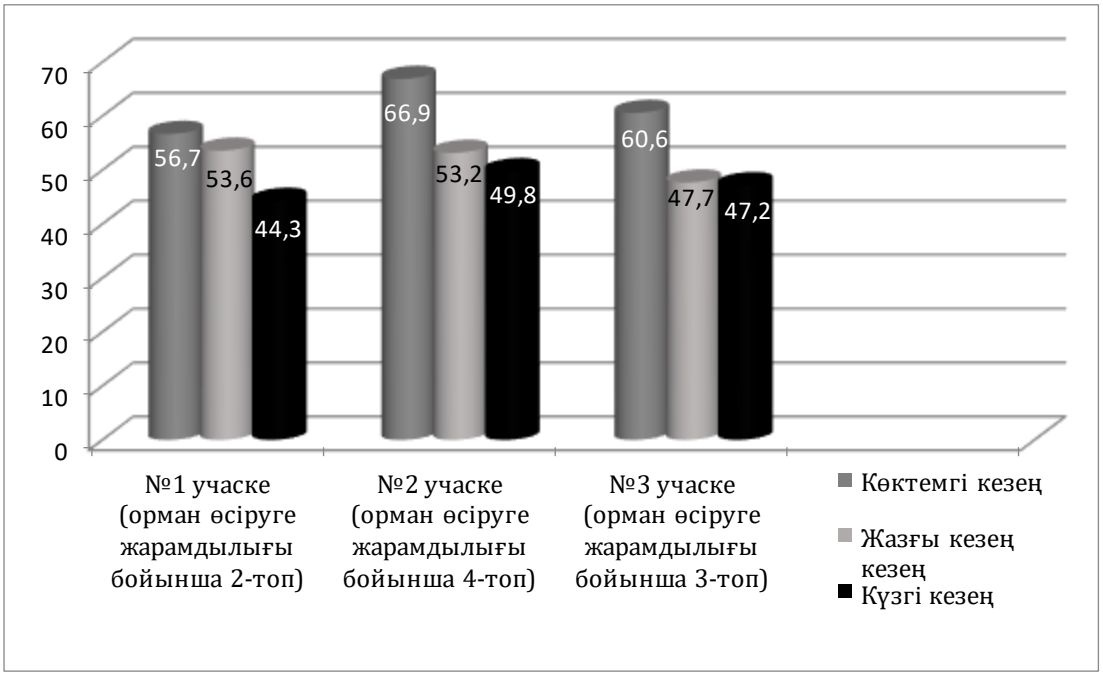
Көктемде топырақ ылғалдылығының бір жылдағы максималды мәндері белгіленді. Барлық учаскелер бойынша орташа ылғалдылық 61,4% құрады. Ылғалдың ең үлкен жинақталуы 30-100 см қабаттарда байқалды, онда ылғалдылық мәндері 65%-дан асады. Бұл еріген судың қарқынды сіңуіне және олардың топырақтың төменгі қабаттарына өтуіне байланысты.

Жоғарғы қабаттар (0-20 см) төмен ылғалдылық мәндерімен сипатталды, бұл булану процестерінің басталуымен және беткі қабаттардағы ылғалдың біркелкі таралмауымен түсіндіріледі. № 2-учаске басқа учаскелермен салыстырғанда ылғалдылықтың жоғары деңгейімен ерекшеленді, бұл сумен қамтамасыз етілуінің қолайлы жағдайларын көрсетеді.

Жазда топырақ ылғалдылығының айтарлықтай төмендеуі байқалды. Орташа мәні 51,5% құрады, бұл ауа температурасының жоғарылауымен және булану процестерінің жоғарылауымен байланысты. Ылғалдылықтың ең айқын төмендеуі 0-30 см қабаттарда тіркелді, мұнда ылғалдылық көктемгі мәндермен салыстырғанда 15-20% төмендеді. Топырақтың ылғалдылығын өлшеу процесі 3-суретте көрсетілген.

Кесте 2 – Арал теңізінің құрғаған ұлтанында орман өсіруге жарамдылығының әртүрлі топтарында орналасқан тәжірибелік учаскелердегі вегетациялық кезеңде топырақтың ылғалдылығы

№	Үлгіні алу кезеңі	Топырақ қабаты, см	Топырақтың ылғалдылығы, %			Орташа, %
			№1 учаске (орман өсіруге жарамдылығы бойынша 2-топ)	№2 учаске (орман өсіруге жарамдылығы бойынша 4-топ)	№3 учаске (орман өсіруге жарамдылығы бойынша 3-топ)	
1	2	3	4	5	6	7
1	Көктем	0-10	14,2	37,0	16,3	22,5
		10-20	35,5	72,0	37,8	48,4
		20-30	26,1	69,9	60,4	52,1
		30-40	72,2	75,5	63,4	70,4
		40-50	73,7	72,7	50,6	65,7
		50-60	70,3	74,1	73,0	72,5
		60-70	72,7	68,0	76,9	72,5
		70-80	69,4	66,3	75,2	70,3
		80-90	67,6	65,6	74,7	69,3
		90-100	65,3	68,0	77,7	70,3
Орташа			56,7	66,9	60,6	61,4
2	Жаз	0-10	12,6	18,5	11,3	14,1
		10-20	33,6	45,6	25,6	34,9
		20-30	31,1	56,3	45,8	44,4
		30-40	62,3	56,9	45,7	55,0
		40-50	64,1	75,2	65,3	68,2
		50-60	67,9	75,4	65,8	69,7
		60-70	51,2	53,3	58,6	54,4
		70-80	69,9	51,2	54,2	58,4
		80-90	71,1	49,7	53,2	58,0
		90-100	71,9	49,5	51,3	57,6
Орташа			53,6	53,2	47,7	51,5
3	Күз	0-10	9,1	12,2	11,3	10,9
		10-20	15,6	28,8	21,2	21,9
		20-30	38,9	41,2	29,6	36,6
		30-40	38,5	47,5	41,3	42,4
		40-50	56,2	63,2	60,8	60,1
		50-60	53,8	51,8	52,1	52,6
		60-70	59,2	59,6	67,8	62,2
		70-80	51,2	65,3	63,9	60,1
		80-90	59,3	65,9	55,2	60,1
		90-100	61,2	62,3	69,1	64,2
Орташа			44,3	49,8	47,2	47,1



Сурет 2 – Арал теңізінің құрғаған ұлтанында орман өсіруге жарамдылығының әртүрлі топтарында орналасқан тәжірибелік учаскелердегі топырақ ылғалдылығының маусымдық өзгеруі



а б

Сурет 3 – Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы тәжірибелік учаскелерінде топырақтың ылғалдылығын зерттеу процесі (а – топырақ кескінінің көрінісі, б – бақылау жүргізу)

Топырақтың төменгі қабаттарында (60-100 см) ылғалдылық аз өзгерді, бұл терең қабаттардың тұрақты су режимін көрсетеді. Сонымен қатар, осы тұрақты су режимі ағаш өсімдіктері үшін өте маңызды, олардың тамыр жүйесі құрғақ кезеңдерде төменгі қабаттардағы ылғалды қолдана алады.

Күзгі кезең топырақ ылғалдылығының ең төменгі орташа жылдық мән-

дерімен сипатталады – 47,1%. Жауыншашынға қарамастан, олардың мөлшері жазғы ылғал тапшылығын қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз болады. Топырақтың жоғарғы қабаттарында төмен ылғалдылық мәндері сақталды, ал төменгі қабаттарда су режимінің салыстырмалы тұрақтануы байқалды.

Ылғалдылық деңгейі бойынша учаскелер арасындағы айырмашылықтар күз мезгілінде де сақталды, бұл топырақ-гидрологиялық жағдайлардың және орман өсіруге жарамдылық тобының топырақ профиліндегі ылғалдың таралуына тұрақты әсерін растайды.

Алынған нәтижелер орманды алқаптардағы топырақтардың су режимін қалыптастыруда маусымдық климаттық факторлардың жетекші рөлін көрсететін басқа зерттеушілердің мәліметтеріне сәйкес келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде орман өсіруге жарамдылығының әртүрлі топтарына жататын Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы тәжірибелік учаскелерде топырақ ылғалдылығының маусымдық және профильді динамикасының заңдылықтары анықталды. Су құрғағаннан кейінгі (постаквалды) ландшафттардағы топырақтың су режимі жоғары маусымдық өзгешелігімен және топырақ профилі бойынша тұрақты тік дифференциациямен сипатталатыны көрсетілген.

Топырақ ылғалдылығының максималды мәндері көктемде, учаскелер бойынша орташа көрсеткіш 61,4%-ға жеткен кезде тіркелді. Ылғалдың ең үлкен жинақталуы (аккумуляциясы) 30-100 см қабаттарда байқалды, бұл еріген судың инфильтрациясымен және терең қабатта ылғал қорының қалыптасуымен байланысты. Барлық маусымдардағы беткі қабаттар (0-20 см) ылғалдылықтың өзгергіштігінің жоғарылауымен және булану шығындарының ең жоғары болуымен ерекшеленді.

Жазғы кезеңде топырақ ылғалдылығының айқын төмендеуі байқалды (орта есеппен 51,5% дейін), бұл 0-30 см қабаттарда анық көрінеді, бұл жоғары температура жағдайында булану мен транспирацияның жоғарылауына байланысты. Сонымен қатар, төменгі қабаттар су режимінің салыстырмалы тұрақтылығын сақтап қалды, яғни олардың құрғақ кезеңде ағаш өсімдіктерін сумен қамтамасыз етудегі шешуші рөлін растайды.

Күз мезгілі топырақ ылғалдылығының ең төменгі орташа жылдық мәндерімен (47,1%) сипатталды, бұл жазғы тапшылықтан кейін ылғал қорының толық қалпына келмеуін көрсетеді. Барлық маусымдардағы ылғалдылық деңгейі бойынша учаскелер арасындағы айырмашылықтардың сақталуы топырақ-гидрологиялық жағдайлар мен орман өсіруге жарамдылығы бойынша топтардағы топырақтың су режимін қалыптастыруға жетекші әсерін көрсетеді.

Орман өсіруге жарамдылығы бойынша 4-топтың учаскесі 2-ші және 3-ші топтардың учаскелерімен салыстырғанда неғұрлым қолайлы және тұрақты ылғал режимімен ерекшеленетіні анықталды, бұл орман мелиорациялық іс-шараларды жобалау және қорғаныш екпелерін өсіру үшін ағаш-бұта түрлерін таңдау кезінде ескерілуі керек.

Алынған нәтижелер Арал теңізінің құрғаған ұлтанындағы топырақтың су режимі туралы түсініктерді кеңейтеді және орман өсіруді оңтайландыру, екпелердің тұрақтылығын арттыру және құрғақ жағдайларда топырақ-гидрологиялық процестердің ұзақ мерзімді мониторингі үшін ғылыми негіз бола алады.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Бұл зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігімен қаржыландырылды (ИРН BR35638504).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Brady N.C., Weil R.R. The Nature and Properties of Soils. - 14th ed. - Pearson, 2008. - P. 14–19.

2. Hillel D. Introduction to Environmental Soil Physics. - Academic Press, 1998. - P. 526–532.

3. Ouyang Z., Zheng H., Xiao Y. Soil water regime and arid land reclamation // Agriculture Ecosystems & Environment. - 2013. - P. 258–269.

4. Xue X., Zhou H., Jiang H. Hydrological processes in desert soils // Hydrology Journal. - 2018. - P. 367–379.

5. Lal R. Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection. - Springer, 2010. - P. 168–177.

6. Peng X., Yang Y., Gao H. Soil moisture variability and plant responses // Ecological Research. - 2019. - P. 214–226.

7. Zhang L., Dawes W.R., Walker G.R. Soil moisture dynamics under arid climate // Water Resources Research. - 2016. - P. 166–178.

8. Воронин А.Д. Агрофизика почв. - М.: Наука, 2018. - 352 с.

9. Добровольский В.В., Никитин Е.Д. Экология почв. - М.: Академический проект, 2020. - 432 с.

10. Ковда В.А. Основы учения о почвах. - М.: Наука, 2019. - 410 с.

11. Орлов Д.С. Химия почв. - М.: Изд-во МГУ, 2017. - 384 с.

12. Шеин Е.В. Физика почв. - М.: КДУ, 2021. - 288 с.

13. Герасимова М.И. Почвенно-гидрологические условия лесных экосистем // Почвоведение. - 2020. - №4. - С. 45–53.

14. Zhang X., Feng G., Sun X. Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A Review // Journal of Agriculture and Food Research. - 2024. - Vol. 18. - Art. 101473.

15. Myeni L., Moeletsi M.E., Clulow A.D. Field calibration of DFM capacitance probes for continuous soil moisture monitoring // Water SA. - 2021. - Vol. 47, No. 1. - P. 88–96.

16. Xu N., Daccache A., Ahmadi A., Houtz D., Perez-Barquero F.P. Soil moisture estimation with microwave remote sensing: a systematic review and meta-analysis // International Journal of Digital Earth. - 2025. - Vol. 18, Iss. 1. - P. 1–27.

17. Бабаева Г. Р., Рагимов Р. М. Вопросы валидации результатов при наземно-бортовом спектральном определении влажности почвы // Почвы и окружающая среда. – 2023. – Т. 6. – № 1. – С. e202.

18. Шадских В.А., Кижаева В.Е., Пешкова В.О., Шушпанов И.А., Иванищева З.Ф., Смирнов Е.С. Перспективы использования влагомера для оперативного определения влажности почвы // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. Энгельс. – 2019. – № 1 (33). – С. 12–25.

19. Иванов А.Л. Водный режим почв лесных территорий // Лесоведение. - 2019. - №6. - С. 12-19.

20. Берлинер, М. А. Измерения влажности / М. А. Берлинер. - изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1973. - 400 с.

21. Болотов А. Г. Измерение влажности почв методом частотной диэлькометрии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 12 (110). – С. 36–39.

REFERENCES

1. Brady N.C., Weil R.R. The Nature and Properties of Soils. - 14th ed. - Pearson, 2008. - P. 14–19.

2. Hillel D. Introduction to Environmental Soil Physics. - Academic Press, 1998. - P. 526–532.

3. Ouyang Z., Zheng H., Xiao Y. Soil water regime and arid land reclamation // Agriculture Ecosystems & Environment. - 2013. - P. 258–269.

4. Xue X., Zhou H., Jiang H. Hydrological processes in desert soils // Hydrology Journal. - 2018. - P. 367–379.

5. Lal R. Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection. - Springer, 2010. - P. 168–177.

6. Peng X., Yang Y., Gao H. Soil moisture variability and plant responses // Ecological Research. - 2019. - P. 214–226.

7. Zhang L., Dawes W.R., Walker G.R. Soil moisture dynamics under arid climate // Water Resources Research. - 2016. - P. 166–178.

8. Voronin A.D. Agrofizika pochv. - M.: Nauka, 2018. - 352 s.

9. Dobrovolskiy V.V., Nikitin E.D. Ekologiya pochv. - M.: Akademicheskiy proekt, 2020. - 432 s.

10. Kovda V.A. Osnovy ucheniya o pochvakh. - M.: Nauka, 2019. - 410 s.

11. Orlov D.S. Khimiya pochv. - M.: Izd-vo MGU, 2017. - 384 s.

12. Shein E.V. Fizika pochv. - M.: KDU, 2021. - 288 s.

13. Gerasimova M.I. Pochvenno-gidrologicheskie usloviya lesnykh ekosistem // Pochvovedenie. - 2020. - №4. - S. 45–53.

14. Zhang X., Feng G., Sun X. Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A Review // Journal of Agriculture and Food Research. - 2024. - Vol. 18. - Art. 101473.

15. Myeni L., Moeletsi M.E., Clulow A.D. Field calibration of DFM capacitance probes for continuous soil moisture monitoring // Water SA. - 2021. - Vol. 47, No. 1. - P. 88-96.

16. Xu N., Daccache A., Ahmadi A., Houtz D., Perez-Barquero F.P. Soil moisture estimation with microwave remote sensing: a systematic review and meta-analysis // International Journal of Digital Earth. - 2025. - Vol. 18, Iss. 1. - P. 1-27.

17. Babaeva G.R., Ragimov R.M. Voprosy validatsii rezul'tatov pri nazemno-bortovom spektral'nom opredelenii vlazhnosti pochvy // Pochvy i okruzhayushchaya sreda. - 2023. - T. 6, No. 1. - e202.

18. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., Peshkova V.O., Shushpanov I.A., Ivanishcheva Z.F., Smirnov E.S. Perspektivy ispol'zovaniya vlagomera dlya operativnogo opredeleniya vlazhnosti pochvy // Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii. - Engel's, 2019. - No. 1 (33). - S. 12–25.

19. Ivanov A.L. Vodnyy rezhim pochv lesnykh territoriy // Lesovedenie. - 2019. - №6. - S. 12-19.

20. Berliner M.A. Izmereniya vlazhnosti / M.A. Berliner. - izd. 2-e, pererab. i dop. - M.: Energiya, 1973. - 400 s.

21. Bolotov A. G. Izmerenie vlazhnosti pochv metodom chastotnoy dielkometrii // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – No. 12 (110). – P. 36–39.

РЕЗЮМЕ

Д.А. Досманбетов[1], А.Б. Ибраева[2], Е. М. Каспакбаев[1]*, Р.С. Ахметов[1],
Ж.С. Дукенов[1], Н.С. Келгенбаев[3], Ж.К. Ракымбеков[1], С.У. Косанов[4], М.А. Уашев[1]

ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ НА ОПЫТНЫХ УЧАСТКАХ ОСУШЕННОГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

[1]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», Алматинский филиал, 050050, Алматы, ул. Жарсуат, 17а, Казахстан

[2]НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», 050010, Алматы, пр. Абая, 8, Казахстан

[3]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», Западно-Казахстанского филиала 030006, Актобе, ул. Жургенова, 169, Казахстан

[4]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», Кызылординский филиала, 120000, Кызылорда, пр. Абая 37/4, Казахстан,

**e-mail: kaspakbaeverganat1971@yandex.ru*

В условиях аридного климата и трансформации природных ландшафтов особую актуальность приобретает изучение водного режима почв осушенного дна Аральского моря, где дефицит влаги является одним из основных лимитирующих факторов формирования устойчивых лесных насаждений. Почвенная влага определяет направленность почвообразовательных процессов, условия роста и развития растительности, а также эффективность лесомелиоративных мероприятий на постаквальных территориях. По степени лесорастительной пригодности почвы осушённого дна Аральского моря подразделяются на три группы: благоприятные - сформированные на песчаных и супесчаных отложениях; удовлетворительные - на донных отложениях, перекрытых эоловым песчаным чехлом; условно лесопригодные - на тяжёлосуглинистых и глинистых донных отложениях, отличающихся повышенной засолённостью и менее благоприятными водно-физическими свойствами. Целью исследования явилось изучение сезонной динамики влажности почвы по профилю до глубины 1,0 м на опытных участках осушенного дна Аральского моря, относящихся к различным группам лесопригодности. В задачи работы входило определение распределения влаги по 10-сантиметровым слоям в весенний, летний и осенний периоды, выявление особенностей вертикальной и сезонной изменчивости влажности, а также проведение сравнительного анализа водного режима почв на участках с различными почвенно-гидрологическими условиями. Исследования проводились в 2026 году с использованием датчика объемной влажности SM-150T. Измерения выполнялись в почвенных разрезах глубиной до 1,0 м с трёхкратной повторностью, что обеспечило репрезентативность полученных данных. Максимальные значения влажности отмечены в весенний период (в среднем 61,4%), при этом основная аккумуляция влаги происходила в горизонтах 30–100 см за счёт инфильтрации талых вод. В летний период зафиксировано снижение влажности почвы (до 51,5%), наиболее выраженное в верхних слоях (0–30 см), что связано с усилением испарительных процессов. Осенью среднегодовые значения влажности достигали минимальных показателей (47,1%), что указывает на неполное восстановление влагозапасов после летнего дефицита. Полученные результаты расширяют представления о формировании водного режима почв осушенного дна Аральского моря и могут быть использованы при обосновании лесомелиоративных мероприятий, выборе древесных и кустарниковых пород, а также при разработке программ мониторинга почвенно-гидрологических процессов в аридных условиях.

*Ключевые слова: в*лажность почвы, осушенное дно Аральского моря, сезонная динамика, лесопригодность, водный режим, почвенно-гидрологические условия.

SUMMARY

D.A. Dosmanbetov[1], A.B. Ibraeva[2], Y.M. Kaspakbayev[1]*, R.S. Akhmetov[1], Zh.S. Dukenov[1], N.S. Kelgenbaev[3], Zh.K. Rakymbekov[1], S.U. Kosanov[4], M.A. Uashev[1]

SOIL MOISTURE DYNAMICS IN EXPERIMENTAL SITES OF THE DRIED ARAL SEA BEDS

[1]LLP "A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry Reclamation", 050050, Almaty, Branch, Zharsuat St., 17a, Kazakhstan

[2]NAO "Kazakh National Agrarian Research University", 050010, Almaty, Abay Ave., 8, Kazakhstan

[3]LLP "A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry Reclamation", West Kazakhstan Branch, 030006, Aktobe, Zhurgenov St.,169, Kazakhstan

[4]LLP "A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry Reclamation", Kyzylorda Branch, 120000, Kyzylorda, Abay Ave., 37/4, Kazakhstan,

**e-mail: kaspakbaeverganat1971@yandex.ru*

In the context of an arid climate and the transformation of natural landscapes, studying the soil moisture regime of the dried bed of the Aral Sea is particularly relevant. Moisture deficiency is one of the main limiting factors for the formation of sustainable forest stands. Soil moisture determines the direction of soil formation processes, the conditions for vegetation growth and development, and the effectiveness of forest reclamation measures in post-aquatic areas. Based on their suitability for afforestation, soils of the exposed Aral Sea bed are classified into three groups: suitable soils developed on sandy and sandy loam deposits; moderately suitable soils developed on bottom sediments overlain by an Aeolian sand mantle; and conditionally suitable soils developed on heavy loam and clayey bottom sediments characterized by elevated salinity and less favorable soil water and physical properties. The aim of the study was to investigate the seasonal dynamics of soil moisture along a profile to a depth of 1.0 m in experimental plots of the dried bed of the Aral Sea, belonging to different forest suitability groups. The objectives of the study included determining the distribution of moisture in 10-centimeter layers during the spring, summer, and fall periods, identifying the characteristics of vertical and seasonal moisture variability, and conducting a comparative analysis of the soil moisture regime in plots with different soil and hydrological conditions. The study was conducted in 2026 using an SM-150T volumetric moisture sensor. Measurements were taken in soil pits up to 1.0 m deep, repeated three times, ensuring the representativeness of the data obtained. Maximum moisture values were recorded in the spring (61.4% on average), with most moisture accumulation occurring in the 30-100 cm horizons due to meltwater infiltration. A decrease in soil moisture (to 51.5%) was recorded in the summer, most pronounced in the upper layers (0-30 cm), due to increased evaporation. In the fall, average annual moisture values reached their minimum (47.1%), indicating incomplete restoration of moisture reserves after the summer deficit. These results expand our understanding of the formation of the soil water regime in the dried bed of the Aral Sea and can be used to justify forest reclamation measures, select tree and shrub species, and develop programs for monitoring soil-hydrological processes in arid conditions.

Keywords soil moisture, dried bed of the Aral Sea, seasonal dynamics, forest suitability, water regime, soil-hydrological conditions.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТ

1. Досманбетов Данияр Ахметович – PhD, қауымдастырылған профессор «Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Алматы филиалының жетекші ғылыми қызметкері, https://orcid.org/0000-0001-8695-5091, e-mail: daniyar_d.a.a@mail.ru

2. Ибраева Алия Болатбеккызы – биология ғылымының магистрі, https://orcid.org/0009-0004-6082-8245, эл. пошта: aliya-ibrayeva81@mail.ru

3. Каспакбаев Ерганат Муратович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, https://orcid.org/0009-0003-4479-5992,
e-mail: kaspakbaeverganat1971@yandex.ru

4. Ахметов Руслан Сабырович – орман ісі магистрі, https://orcid.org/0000-0003-3032-8157, e-mail: ars_28@mail.ru

5. Дукенов Жеңіс Серикович - ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, https://orcid.org/0000-0001-7423-8570, e-mail: 7078786694@mail.ru

6. Келгенбаев Нуржан Сержанұлы - ЖШС Батыс Қазақстан филиалының директоры, https://orcid.org/0000-0003-1848-806X, nurzhan_n_n@mail.ru

7. Ракымбеков Жандос Канатович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, аға ғылыми қызметкері, https://orcid.org/0000-0002-8404-5278,
e-mail: rakymbekov.zh@gmail.com

8. Косанов Самалбек Уразбаевич - ЖШС Қызылорда филиалының директоры, https://orcid.org/0000-0002-3877-7566, e-mail: samalbek_72@mail.ru

9. Уашев Мунарбек Алтынбекович - ЖШС Алматы филиалының кіші ғылыми қызметкері, https://orcid.org/0009-0005-4227-7264,
e-mail: Uashev.munarbek@mail.ru