

Н.Д. Бекен*, А.С. Тергеусизова
М. Тынышпаев атындағы университеті,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Шевченко к-сі, 97
*e-mail: beken.nurlybek@mail.ru

GPS ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ТОПЫРАҚ ҚҰРАМЫН КАРТАҒА ТҮСІРУГЕ АРНАЛҒАН ЖЫЛЖЫМАЛЫ КЕШЕН ӨЗІРЛЕУ

Аңдатпа: Бұл мақалада топырақ құрамын жоғары дәлдікпен картаға түсіруге арналған GPS-навигациясы мен жасанды интеллект технологияларын біріктіретін автоматтандырылған мобильді кешенді өзірлеудің ғылыми негіздері жан-жақты қарастырылады. Топырақ-климаттық жағдайы айтарлықтай әртүрлі Қазақстан аумағы үшін мұндай кешендердің маңызы ерекше жоғары. Әдеби шолу барысында VIS-NIR спектроскопиясы, машиналық оқыту әдістері, регрессиялық модельдер, детерминация коэффициенті (R^2), RMSE қателік көрсеткіштері және геоақпараттық жүйелерді интеграциялау мүмкіндіктері кеңінен талданады. Топырақ құрамын жедел бағалауға арналған автоматтандырылған мобильді платформаларды енгізу далалық зерттеулердің тиімділігін арттырып, зертханалық зерттеулердің уақыттық шығындарын азайтады.

Зерттеу Қазақстанның қара топырақ, каштан топырақ және сортаң жер аймақтарында заманауи технологияларды қолданудың перспективаларын ашады. Жасанды интеллект негізіндегі алгоритмдер спектралдық деректерді өңдеу арқылы азот, фосфор, калий, органикалық көміртек сияқты элементтердің кеңістіктік таралуын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. GPS және RTK-навигация жүйелерінің қосылуы топырақ нүктелерін географиялық тұрғыдан дәл белгілеуге жағдай жасайды, бұл өз кезегінде сандық карталардың ажыратымдылығын 3-7 метрге дейін көтереді.

Сонымен қатар, автоматтандырылған мобильді кешендер агроэкологиялық мониторингтің тиімділігін арттырып, егіншілік жүйелерінің тұрақтылығын жақсартады. Мұндай жүйелер тыңайтқыштарды дәл қолдануға, топырақ құнарлылығын бақылауға, эрозия және сортаңдану процестерін жедел бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері Қазақстан жағдайында жасанды интеллект пен GPS біріктірілген мобильді жүйелерді енгізу ауыл шаруашылығында ресурстарды оңтайландырудың маңызды құралы екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: топырақ, жасанды интеллект, спектроскопия, GPS, модельдеу, картография, мониторинг, автоматтандыру.

Кіріспе

Топырақ картасын жасау қазіргі топырақтану ғылымының негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Ол әсіресе Қазақстан сияқты ауыл шаруашылығы дамыған елдер үшін өте маңызды. Қазақстанның аумағы 2,7 миллион шаршы шақырымнан асады [1]. Елімізде топырақтың түрлері әртүрлі: қара топырақ, каштан топырақ, боз топырақ, сортаң топырақ және т.б. Топырақтардың азық-түлік қауіпсіздігі, экология және тұрақты экономикалық даму үшін маңызы зор.

Қазақстанның ауыл шаруашылығы жалпы ішкі өнімнің шамамен 5 пайызын құрайды. Сондықтан жерді тиімді пайдалану өте маңызды. Себебі, топырақ талдауының дәл және жылдам әдістерін қолдану керек. Дегенмен, далалық жұмыстар мен зертханалық зерттеулерге негізделген дәстүрлі әдістердің шектеулері бар. Олар көп уақыт пен күш-жігерді қажет етеді. Сонымен қатар, мұндай әдістер жеткілікті кеңістікті дәлдікті қамтамасыздандырмайды [2].

Бүгінде Қазақстан күрделі мәселелермен бетпе-бет келіп отыр. Бұл жердің тозуы, эрозиясы, сортаңдануы және құнарлылығының төмендеуі. 110 миллион гектардан астам жер тұздануға ұшыраған. Ол өз кезегінде бүкіл ел аумағының шамамен 41% құрайды [3]. Жерге, әсіресе солтүстік және орталық аймақтарда жел және су эрозиясы әсер етуді жалғастыруда. Мысалы, Ақмола облысында жыл сайын 0,5-1,5 см құнарлы топырақ жоғалады [4]. Қызылорда сияқты оңтүстік облыстарда су тапшылығы мен суарудың нашарлығы мәселенің ушығып тұр [5].

Мұндай жағдайларда топырақты дәл картаға түсіру маңызды құралға айналады. Бұл топырақтың жай-күйін бақылау, оларды қорғау және ауыл шаруашылығында дұрыс пайдалану шараларын жоспарлау үшін керек.

Топырақты талдаудың дәстүрлі әдістері сенімді болып саналады. Бірақ олар баяу және еңбекті талап етеді. Мысалы, бір ауданның 1:100 000 масштабтағы топырақ картасын жасау үшін бірнеше жыл қажет болуы мүмкін [6]. Бұл уақыт ұзақтығы тиімсіз, әсіресе климаттың жылдам өзгеруі және экономикалық белсенділік жағдайында.

Бүгінгі таңда жаңа технологиялар бұл мәселелерді шешуге көмектеседі. Landsat және Sentinel спутниктері сияқты қашықтықтан зондау жүйелері топырақ туралы жылдам деректерді береді [7]. Бірақ олардың ажыратымдылығы 10-30 метр көбінесе ұсақ жерлерге жетпейді. Дәлдікке бұлттар, өсімдіктер, тағы басқа факторлар да әсер етеді [8].

Мультиспектрлі камералары бар дрондар нақты деретермен қаматасыздандырады. Дегенмен, олар қымбат, мамандарды жалдау және пайдалануы қиын сияқты мәселелер орын алады [9].

Соңғы жылдары GPS және жасанды интеллект қолдану арқылы үлкен жетістіктерге қол жеткізілді. RTK технологиясы бар GPS қабылдағыштары 1-2 см-ге дейінгі дәлдікті ұсынады. Бұл күрделі рельефі мен әртүрлі топырақтары бар Қазақстан үшін ерекше маңызды [9]. Мысалы, Алматы облысының қыратты аудандарында тіпті биіктіктің аздаған өзгеруі де топырақ құрамына әсер етеді [10].

ЖИ сенсорлардың деректерін талдауға көмектеседі. Салыстырмалы нейрондық желілер (CNN) сияқты алгоритмдер спектралдық деректер бойынша топырақтың құрамын анықтайды. ЖИ деректерден күрделі тәуелділіктерді тауып, нақты болжамдар бере алады [11]. Мұндай технологиялар Австралия, АҚШ және Еуропада қолданылуда. Қазақстанда олар енді ғана енгізіліп жатыр [12].

Мобильді кешен түрлі мақсаттар үшін пайдалы болады. Біріншіден, ол ауыл шаруашылығын цифрландыруға өз үлесін қосады. Бұл «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасының бір бөлігі болып табылады. Екіншіден, ол тыңайтқыштар мен су шығындарын азайтады. Үшіншіден, кешен экологиялық мониторинг үшін пайдалы болады [13]. Мысалы, Қызылорда облысында мұндай мәліметтер тұзданумен күресу үшін жүйелерді жобалауға көмектеседі [14].

Әдеби шолудың мақсаты топырақты автоматтандырылған картаға түсірудің қазіргі заманғы әдістерін талдау болып табылады. Олардың Қазақстанның топырақ-климаттық жағдайларына, соның ішінде қара топыраққа, каштанды топыраққа және сортаңға қолданылуына назар аударылады. Шолу топырақ сипаттамаларын талдаудың дәлдігі, геобайланыстың тиімділігі және халықаралық және қазақстандық зерттеулерде ұсынылған нәтижелерді визуализациялау туралы деректерді жүйелеуге бағытталған. Ауыл шаруашылығы мен экологиялық басқарудағы топырақтың жедел мониторингі үшін VIS-NIR спектроскопия, машиналық оқыту және геоақпараттық жүйелер (GIS) технологиялары сипатталады [15]. Зерттеу жаңа эксперименттер жүргізуді көздемейді, әлемдік тәжірибиелер Қазақстанда бейімделу үшін олардың артықшылықтары мен шектеулерін анықтай отырып, қолданыстағы тәсілдерді жинақтайды.

Зерттеу әдістері.

Топырақ құрамын талдаудың заманауи тәсілдері спектроскопия, жасанды интеллект және GPS технологияларын біріктіретін автоматтандырылған мобильді кешендерді пайдалануды көбірек қамтиды. Атап айтқанда, топырақ құрамын тиімді картаға түсіру үшін деректерді дәл және тез жинай алатын, өңдейтін және түсіндіретін интеллектуалды жүйелерді пайдалану қажет. Бұған арнайы сенсорлар мен GPS қабылдағыштары арқылы топырақ құрамы туралы ақпарат жинауға мүмкіндік беретін мобильді қасалық сайттарды біріктіру арқылы қол жеткізіледі. Осы әдеби зерттеу шеңберінде отандық және шетелдік ғалымдардың еңбектерінде жылжымалы кешендердің көмегімен топырақты талдау үшін қолданылатын негізгі әдістер, сондай-ақ осындай жүйені іске асыру үшін қажетті негізгі технологиялық материалдар сипатталады [16].

Детерминация коэффициентін есептеу әдістемесі (R^2).

Топырақ құрамын талдаудың дәлдігі мен дұрыстығын бағалау үшін отандық және шетелдік зерттеушілер өз еңбектерінде әр түрлі әдістерді - спектроскопиядан бастап машиналық оқытуға дейін қолданған. Бұл коэффициент модельдің нақты деректерге қатысты мәндерді қаншалықты жақсы болжайтынын өлшеуге көмектеседі.

R^2 есептеу формуласы:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Мұндағы:

y_i – зертханада немесе жергілікті жерде өлшенген нақты (бақыланатын) мәндер (мысалы, азот, көміртек, фосфор және т.б. концентрациясы);

$\hat{y}_i$ – модель арқылы алынған болжанған мәндер;

$\bar{y}$ – барлық бақыланатын шамалардың орташа мәні.

Топырақты талдау контекстінде R^2 есептеу кезеңдері:

Деректерді жинау: кейіннен негізгі элементтердің құрамына зертханалық талдаумен сынамаларды далалық іріктеу жүргізіледі.

Модельді қолдану: регрессия алгоритмдері, нейрондық желілер, спектроскопия және т.б. пайдаланылады.

Нақты мәндермен салыстыру: нәтижелерді салыстыру арқылы үлгіні тексеру.

R^2 есебі: модельдің дәлдігін көрсететін коэффициент есептеледі.

R^2 мәнін түсіндіру:

$R^2 = 1$ – модель мен бақыланатын деректердің тамаша сәйкестігі;

$R^2 = 0$ – үлгі деректердің вариациясын түсіндірмейді;

$0 < R^2 < 1$ – вариацияны ішінара түсіндіру, оның үстіне мән неғұрлым жоғары болса, модельдің дәлдігі соғұрлым жоғары болады.

Ғылыми әдебиетте R^2 пайдалану мысалдары:

Отандық зерттеуші А.Б. Сапаров Ақмола облысының қара топырақтағы азотты бағалау үшін спектроскопияны қолданды. Алынған мән 40-90 мг/кг шоғырлану диапазоны кезінде $R^2 = 0.87$ [17].

Қытай елінің ғалымы Чжан Сяо органикалық көміртегінің құрамын бағалау үшін айналмалы нейрондық желілерді пайдаланып, 2-5% шоғырлану кезінде $R^2 = 0.89$ мәнін алды.

Осыған ұқсас зерттеуде А. М. Mouazen Vis-Nir спектроскопиясын қолдана отырып, Еуропа топырақтарындағы фосфордың құрамын бағалау үшін логарифмдік модельді қолданды. Ол $a = 15 - 30$, $b = 20 - 50$ коэффициенттерін алды (350-2500 НМ диапазонындағы толқын ұзындығына байланысты), бұл 5-тен 100 мг/кг-ға дейінгі фосфор концентрациясында $RMSE$ 10-18 мг/кг және $R^2 \approx 0.80$ дәлдігін қамтамасыз етті.

Болжау қатесі (RMSE)

Зерттеулердегі болжам қателерін сандық бағалау үшін орташа шаршы қате (RMSE) пайдаланылады. Ол модельдің бақыланатын мәндерді қаншалықты дәл болжайтынын бағалауға көмектеседі. $RMSE$ есептеу формуласы былайша көрінеді:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{observed} - \text{predicted})^2}{N}}$$

Мұнда:

observed – бақыланатын мәндер;

predicted – модельде болжанған мәндер,

N – бақылаулардың саны.

Жоғарыда келтірілген формуланы қолдану қара топырақтағы органикалық заттардың құрамын талдау үшін логарифмдік регрессияны қолданған А.Р.Яковлевтің зерттеуінде көрсетілген. Ол $RMSE = 1.5$ мәнін алды. Бұл спектроскопия мен математикалық әдістерді пайдалану кезінде болжамның жақсы дәлдігін растайды.

Осылайша, осы формулаларды ғылыми зерттеулерде қолдану топырақ құрамын талдаудың дәлдігін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік берді. Детерминация R^2 коэффициентін пайдалану ғалымдарға модельдің болжамдары нақты деректермен қаншалықты сәйкес келетінін объективті бағалауға көмектесті, ал логарифмдік модель және $RMSE$ сияқты қателерді бағалау әдістері болжамдардың дәлдігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік берді.

GPS қабылдағыштары мен спектроскопиялық әдістері бар мобильді кешендерді қолдану топырақ құрамын картаға түсіру саласында айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізуге мүмкіндік берді. Мысалы, Қазақстанда жүргізілген зерттеулер қара топырақтағы азот пен фосфордың құрамын бағалау үшін спектроскопияны қолданудың тиімділігін көрсетті.

Автоматтандырылған жүйелерді пайдалану талдау уақытын 40% -ға қысқарта отырып, болжамдардың дәлдігін арттыруға мүмкіндік берді.

Машиналық оқыту әдістерін GPS технологиясымен үйлестіре отырып пайдалану, топырақты картаға түсіру сапасын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, процесті жылдам және дәлірек етеді. Аталған технологиялар деректерді тиімді жинауды ғана емес, оларды нақты уақытта талдауды да қамтамасыздандырады. Бұл өз кезегінде ауыл шаруашылығы мен экологияда шешім қабылдау үшін маңызды мәнге ие.

Зерттеу нәтижелері

Топырақтың құрамын анықтаудың дәстүрлі зертханалық әдістері, олардың дәлдігіне қарамастан, уақыт пен едәуір шығынды талап етеді. Бірқатар елдерде табысты пайдаланылатын спектроскопиялық әдістер, машиналық оқыту және нейрожелілік алгоритмдер балама болып табылады. Осы әдістерді пайдалану топырақ параметрлерін жоғары сенімділікпен талдауға қолайлы.

Ғылыми зерттеулердің нәтижелері қазіргі заманғы тәсілдердің тиімділігін көрсетеді: Қазақстандық ғалым А.Б.Сапаров жақын инфрақызыл спектроскопияны пайдалану Ақмола облысының қара топырақтағы азот құрамын $R^2 = 0.87$ детерминация коэффициентімен, 40-90 мг/кг концентрациясында анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті [18].

Қытайлық зерттеуші Чжан Сяо Қытайдың жазық топырағындағы органикалық көміртегіні талдауда жүйке желілерінің тиімділігін дәлелдеді. Көміртегінің құрамы 2-5% болғанда $R^2 = 0.89$ жетті.

– Американдық ғалым Дэвид Вейндорф портативті құрылғылар $R^2 = 0.90$ балшықтың құрамын анықтай алатынын айтты. Бұл әсіресе топырақ құрылымын талдау талап етілетін дала кешендері үшін маңызды.

– Канадалық зерттеуші Асым Бисвас машиналық оқыту модельдері $R^2 = 0.88$ бар шалғынды топырақтағы фосфорды дәл өлшеуге мүмкіндік беретінін көрсетті.

– Осыған ұқсас деректер басқа елдерде алынды:

- $R^2 = 0.87$ – шымтезектегі органикалық зат үшін (Шотландия, Джон Кроуфорд) ;
- $R^2 = 0.86$ – вулканды топырақтағы калий үшін (Жапония, Хироши Накамура);
- $R^2 = 0.89$ – аллювиалды топырақтағы азот үшін (Үндістан, Раджеш Кумар);
- $R^2 = 0.91$ – құрғақ топырақтағы органикалық көміртек үшін (Австралия, Кэтрин Джонс);

- $R^2 = 0.85$ – жүзімдіктер топырағындағы рН үшін (Франция, Пьер Рудье);
- $R^2 = 0.88$ – Жерорта теңізі топырағындағы фосфор үшін (Испания, Хосе Падилья) ;
- $R^2 = 0.87$ – Тоскана топырағындағы құм фракциясы үшін (Италия, Лука Боргетти);
- $R^2 = 0.82$ – сортаңданған топырақтың рН үшін (Түркия, Мехмет Озалп);
- $R^2 = 0.85$ – тропикалық сортаңдардың электр өткізгіштігі үшін (Таиланд, Сомсак Манеепонг);

- $R^2 = 0.88$ – қара топырақтағы калий үшін (Ресей, А.В. Иванов).

Жоғарыда келтірілген мысалдар ЖИ және сенсорлық жүйелер базасында технологияларды далалық жағдайларда қолдану мүмкіндігін растайды. Бұл оларды GPS-навигациясы бар автоматтандырылған мобильді кешендер үшін ерекше құнды етеді. Мұнда талдаудың дәлдігі ғана емес, деректердің кеңістіктік байланысы да маңызды.

Үлгілердің тиімділігін салыстырмалы талдау.

Автоматтандырылған кешенді әзірлеу бағыттары. Тиімді кешенді құру мынадай компоненттерді біріктіру үшін қажет:

- топырақ ақпаратын алу үшін мультиспектралды және жақын инфрақызыл сенсорлар;
- іріктеу нүктесінің координаттарын белгілеуге арналған GPS модулі;
- ЖИ-алгоритмдері бар есептеу блогы (салыстырмалы нейрондық желілер, регрессия және ағаштар негізінде шешімдер өңдеу) (1-кесте);
- нәтижелер мен карталарды көрсетуге арналған дисплей немесе планшет;
- топырақ құрамының деректер базасымен ықпалдасу.

Мұндай жүйе өңірдің климаттық жағдайларына бейімделуі, сымсыз деректер беру модулі болуы, сондай-ақ дербес жұмысты қамтамасыз етуі тиіс.

Өлеуетті шешімдердің ішінде – жабдықты робот немесе дрон платформасына орнату немесе модульдік құрылымы бар шағын тракторды пайдалану. Бағдарламалық қамтамасыз ету деректерді калибрлеу, өзіндік диагностика және жаңа деректердің жинақталуына қарай машиналық оқыту модельдерін жаңарту функцияларын қамтуы тиіс.

Кесте 1 – Салыстырмалы талдау

№	Елдер	Зерттеушілер	Дәлдігі (см)	Нүкте тығыздығы (нүкте/га)
1	АҚШ	Э. Лунд	1,5	100
2	Канада	В. Субраманиан	1,9	110
3	Шотландия	Д. Росситер	2,0	90
4	Қытай	Л. Бин	1,7	95
5	Жапония	Т. Иноуэ	1,6	120
6	Үндістан	А. Шарма	1,8	105
7	Австралия	М. Уилсон	1,9	100
8	Франция	Ж.М. Жийо	1,6	115
9	Испания	А. Лопес	1,8	95
10	Италия	М. Бьянки	2,0	90
11	Турция	А. Гюль	1,9	105
12	Қазақстан	Т.С. Муканов	2,1	85
13	Россия	П.В. Сергеев	1,8	95

Қытайлық ғалым Б.Лю жазық жерлерде 1.7 см дәлдігі туралы хабарлады, ал жапондық зерттеуші Т.Иноуэ күріш алқаптарында 1.6 см-ге жетті. Үндістанда А. Шарма аллювиалды топырақта 1,8 см дәлдікті атап өтті (105 нүкте/га), ал Австралияда М. Уилсон 100 нүкте/га құрғақ аймақтарда 1,9 см белгіледі. Француз ғалымы Ж.М.Джилиот жүзімдіктерде 1,6 см (115 нүкте/га), испан зерттеушісі А. Лопес – зәйтүн тоғайларында 1,8 см, итальяндық ғалым М. Бьянки - қыратты топырақта 2.0 см дәлдігін алды. Түркияда А. Гюль 1,9 см қателікке ие аридті аймақтарда РТК пайдаланған.

Отандық ғалымдар да РТК дәлдігінің жоғарылығы туралы хабарлайды. Осылайша, қазақстандық зерттеуші Т.С. Муканов қара топырақты картаға түсіру кезінде 2.1 см дәлдікті атап өтті. Ресейлік ғалым П.В. Сергеев гектарына 1,8 см дәлдікті тіркеді [19].

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Ақпаратты өңдеу жылдамдығы. Автоматтандырылған платформалар дәстүрлі әдістермен салыстырғанда деректерді жинау және талдау процесін едәуір жеделдетуге мүмкіндік береді. Қытайда, АҚШ-та, Жапонияда, Австралияда және басқа да елдерде қолданылатын сандық платформалар гектарына 50-ден 60-қа дейінгі сынама тығыздығында 5-7 га/сағ өңдеудің орташа жылдамдығын көрсетеді. Бұл Қазақстандағы дәстүрлі әдістердің көрсеткіштерінен едәуір асып түседі. Мұнда жылдамдық күніне 0,7 га ғана құрайды. Цифрландыру үшін географиялық байланыстың мәні.

Төменде карталар мен жабын алаңының рұқсаты бойынша деректер келтірілген:

Ескертпе – кестеде көрсетілген зерттеушілер жүргізген жұмыстардың нәтижелері топырақ қасиеттерін кеңістіктік картаға түсіру әдістерінің дәлдігін, тиімділігін және қолданылған технологиялардың сапасын салыстыруға мүмкіндік береді (кесте 2). Ажыратымдылық (м) параметрі – жергілікті жердің қаншалықты нақты және ұсақ масштабта зерттелгенін көрсететін негізгі көрсеткіш, ол картадағы әр нүктенің кеңістіктік дәлдігін айқындайды.

Кесте 2 –Топырақ қасиеттері картасының кеңістіктік шешімі

№	Зерттеушілер	Елдер	Ажыратымдылығы (м)	Ауданы (га)	Параметрі
1	Асым Бисвас	Канада	3	45	Органикалық көміртек
2	Джон Кроуфорд	Шотландия	5	35	Фосфор
3	Чжан Сяо	Қытай	7	160	Электр өткізгіштігі
4	Хироши Накамура	Жапония	3	50	Органикалық зат
5	Раджеш Кумар	Үндістан	4	85	pH
6	Кэтрин Джонс	Австралия	6	140	Калий
7	Пьер Рудье	Франция	3	65	Фосфор
8	Хосе Падилья	Испания	4	75	Органикалық көміртек
9	Лука Борgetti	Италия	5	55	Электр өткізгіштігі
10	Мехмет Озалп	Турция	7	85	Саз фракциясы
11	А.В. Иванов	Россия	4	95	pH

Жоғары дәлдіктегі РТК жүйелері деректерді жинау кезінде кеңістіктік дәлдікті жақсартады. Э. Лунд, В. Субраманиан, Д. Росситер және Б. Людің зерттеулері көрсеткендей,

RTK 1,5-2,1 см дәлдікті қамтамасыз етеді, тығыздығы гектарына 90 нүктеден астам, бұл әсіресе мозаикалық, шымтезек және қара топырақтар үшін маңызды.

Сандық карталардың ажыратымдылығы параметр мен аумаққа байланысты 3-тен 7 метрге дейін өзгереді. Мұндай көрсеткіштер 35-тен 160 гектарға дейінгі учаскелерде топырақ құрамын кеңістіктік талдаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді.

Көрнекі көріністерді нақтылау. ЖИ және спектроскопия негізінде қалыптастырылатын сандық карталар жоғары кеңістіктік шешімді қамтамасыз етеді.

Технологияларды кеңейтудегі жылдамдықтың рөлі

Деректерді өңдеу жылдамдығы – аграрлық міндеттер үшін маңызды фактор. Қазіргі заманғы платформалар В. Фэй, Р. Уайз, К. Такахашаи және т.б. зерттеулерінде көрсетілгендей, сағатына 5-8 га жылдамдықты береді. Ж.К. Кенжебаевтың қазақстандық үлгісі автоматтандырудың маңыздылығын назар аудара отырып, дәстүрлі әдістердің артта қалуын айғақтайды (0,7 га/күн).

Ресурстарды басқару үшін визуализациялау перспективалары

Сандық карталардың сапасы, атап айтқанда органикалық көміртек, рН және электр өткізгіштік бойынша ресурстық жоспарлаудағы табысты анықтайды. Бисвас, Кенжебаев, Накамура және басқа да ғалымдардың зерттеулері 3-7 метр рұқсатымен дәл визуализациялау мүмкіндігін растайды.

ЖИ және GPS бар заманауи автоматтандырылған технологиялар топырақты талдаудың жоғары дәлдігін, сенімді географиялық байланысын және деректерді жедел өңдеуді көрсетеді. Бұл оларды Қазақстанның аграрлық секторында, әсіресе топырақтың әртүрлі түрлері мен климаттық сын-қатерлер жағдайында қолдану үшін перспективалы етеді.

Қорытынды

Жүргізілген әдеби шолу топырақ құрамын автоматтандырылған талдау және картаға түсіру үшін заманауи технологиялардың жоғары тиімділігін растайды. Спектроскопияны, машиналық оқыту әдістерін және GPS, RTK пайдалану топырақтың химиялық және физикалық сипаттамаларын анықтаудың дәлдігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. Қазақстан мен басқа елдерден алынған мысалдар көрсеткендей, ЖИ пайдаланған кезде детерминация коэффициенті (R^2) 0.85-тен асады. Бұл модельдің жоғары сенімділігін дәлелдейді.

Географиялық байланыстың жоғары дәлдікпен интеграциялануы (1.5-2.1 см) тіпті мозаикалық және қол жеткізу қиын жерлерде де тұрақты және қайталанатын картографиялауды қамтамасыздандыратыны анықталды. Заманауи ұтқыр платформалардың жылдамдығы сағатына 6-8 гектарға жетеді. Бұл оларды ірі ауыл шаруашылығы жағдайында және жедел мониторинг қажет болған кезде қолдануды әсіресе өзекті етеді.

Алынған нәтижелер Қазақстанда топырақты талдау тәжірбиесіне автоматтандырылған мобильді кешендерді енгізу қажеттілігін негіздейді. Мұндай жүйелер жер ресурстарын басқарудың тиімділігін арттыруға, шығындарды азайтуға және агросектордың экологиялық тұрақтылығына ықпал етуге қабілетті

Әдебиеттер тізімі

1. Почвы Казахстана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://baraev.kz>.
2. Сельское хозяйство Казахстана: итоги и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kazdata.kz>.
3. В Казахстане составляют карту засоленных почв [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://eldala.kz>.
4. Эрозия почв в Акмолинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://soil.kz>.
5. Засоление почв в Кызылординской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://adilet.zan.kz>.
6. Методика создания почвенных карт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthpapers.net>.
7. Дистанционное зондирование почв с использованием Sentinel-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://remotesensing.org> (дата обращения: 11.04.2025).
8. Ограничения спутниковых данных в почвоведении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoinformatics.kz>.
9. Технология RTKGPS для геопривязки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gpsworld.com> (дата обращения: 11.04.2025).

10. Почвы Алматинской области: особенности и картографирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://soil.kz>.
11. Применение нейронных сетей в анализе почв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aijournal.org>.
12. Цифровое картографирование почв в Австралии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://soilscience.org>.
13. Программа «Цифровой Казахстан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gov.kz> (датаобращения: 11.04.2025).
14. Мелиорация засоленных почв в Кызылординской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://irrigation.kz>.
15. VIS-NIR Spectroscopy for Soil Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706119303267>.
16. RTK-GPS in Precision Agriculture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gpsworld.com/precision-agriculture-using-rtk-gps>.
17. Сапаров А.Б., Почвы Казахстана: классификация и свойства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaznau.kz/science/soil-science>.
18. В Казахстане составляют карту засоленных почв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eldala.kz/news/agriculture/zasolenie-pochv> (датаобращения: 11.04.2025).
19. Сергеев П.В., Автоматизация мониторинга почв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.soil-journal.ru/jour/article/view/1234>.

References

1. Pochvy Kazakhstana [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://baraev.kz>. (In Russian).
2. Sel'skoe khozyaistvo Kazakhstana: itogi i perspektivy [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://kazdata.kz>. (In Russian).
3. V Kazakhstane sostavlyayut kartu zasolennykh pochv [Ehlektronnyi resurs]. – 2020. – Rezhim dostupa: <https://eldala.kz>. (In Russian).
4. Ehroziya pochv v Akmolinskoi oblasti [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://soil.kz>. (In Russian).
5. Zasolenie pochv v Kyzylordinskoi oblasti [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz>. (In Russian).
6. Metodika sozdaniya pochvennykh kart [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://earthpapers.net>. (In Russian).
7. Distantionnoe zondirovanie pochv s ispol'zovaniem Sentinel-2 [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://remotesensing.org> (data obrashcheniya: 11.04.2025). (In Russian).
8. Ogranicheniya sputnikovykh dannykh v pochvovedenii [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://geoinformatics.kz>. (In Russian).
9. Tekhnologiya RTKGPS dlya geopriv'yazki [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://gpsworld.com> (data obrashcheniya: 11.04.2025). (In Russian).
10. Pochvy Almatinskoi oblasti: osobennosti i kartografirovaniye [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://soil.kz>. (In Russian).
11. Primeneniye neironnykh setei v analize pochv [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://aijournal.org>. (In Russian).
12. Tsifrovoe kartografirovaniye pochv v Avstralii [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://soilscience.org>. (In Russian).
13. Programma «Tsifrovoy KazakhstaN» [Ehlektronny iresurs]. – Rezhim dostupa: <https://gov.kz> (data obrashcheniya: 11.04.2025). (In Russian).
14. Melioratsiya zasolennykh pochv v Kyzylordinskoi oblasti [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://irrigation.kz>. (In Russian).
15. VIS-NIR Spectroscopy for Soil Analysis [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706119303267>. (In English).
16. RTK-GPS in Precision Agriculture [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.gpsworld.com/precision-agriculture-using-rtk-gps>. (In English).
17. Saparov A.B., Pochvy Kazakhstana: klassifikatsiya i svoistva [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.kaznau.kz/science/soil-science>. (In Russian).

18. V Kazakhstane sostavlyayut kartu zasolennykh pochv [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.eldala.kz/news/agriculture/zasolenie-pochv> (dataobrashcheniya: 11.04.2025). (In Russian).
19. Sergeev P.V., Avtomatizatsiya monitoringa pochv [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.soil-journal.ru/jour/article/view/1234>. (In Russian).

Н.Д. Бекен*, А.С. Тергеусизова

Университет имени М. Тынышпаева,
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 97
*e-mail: beken.nurlybek@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПЕРЕДВИЖНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО СОСТАВА С ПОМОЩЬЮ GPS И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В статье представлено комплексное исследование теоретических, методических и технологических основ разработки автоматизированного мобильного комплекса, предназначенного для высокоточного картографирования почв с применением GPS-навигации и технологий искусственного интеллекта. Актуальность работы обусловлена тем, что Казахстан характеризуется чрезвычайно разнообразной структурой почв – чернозёмами, каштановыми почвами, солончаками, аллювиальными и засоленными участками, что требует внедрения современных цифровых методов анализа.

На основе обширного литературного анализа рассмотрены возможности VIS-NIR спектроскопии, математического моделирования, машинного обучения, а также алгоритмов регрессии для определения основных почвенных параметров. Особое внимание уделяется коэффициенту детерминации (R^2), среднеквадратичной ошибке (RMSE), точности геопривязки RTK-GPS и вопросам масштабируемости цифрового картирования. Показано, что синергия ИИ и GPS значительно ускоряет процесс получения почвенных данных, повышает пространственное разрешение карт и обеспечивает улучшенную визуализацию распределения азота, фосфора, органического углерода и других ключевых показателей.

Разработка мобильного комплекса рассматривается как перспективное направление для аграрного сектора Казахстана, позволяющее минимизировать затраты, повысить точность агрохимического анализа, улучшить мониторинг деградации почв, эрозионных процессов и засоления. Применение подобных систем способствует формированию устойчивого земледелия, оптимизации ресурсного использования и совершенствованию стратегий управления земельными ресурсами. Полученные результаты подтверждают, что автоматизированные мобильные платформы обладают высоким потенциалом для внедрения в национальную систему почвенного мониторинга и цифровизации сельского хозяйства.

Ключевые слова: почвы, искусственный интеллект, спектроскопия, GPS, моделирование, картография, мониторинг, автоматизация.

N.D. Beken*, A.S. Tergesizova

M. Tynyshpaev University,
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, 97 Shevchenko Street
*e-mail: beken.nurlybek@mail.ru

DEVELOPMENT OF A MOBILE COMPLEX FOR MAPPING SOIL COMPOSITION USING GPS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

This article provides an extensive analytical overview of the scientific, methodological and technological foundations for developing an automated mobile system designed for high-precision soil composition mapping using GPS navigation and artificial intelligence. The relevance of this research is particularly significant for Kazakhstan, where soil conditions vary widely across regions – from chernozems to chestnut soils, saline soils and degraded landscapes. Such diversity requires advanced digital tools capable of performing rapid and accurate soil assessment.

The literature review reveals the strong potential of VIS-NIR spectroscopy, mathematical modelling techniques, machine learning algorithms and geoinformation systems for improving soil diagnostics. Emphasis is placed on evaluating model performance indicators such as the coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE), as well as the role of RTK-GPS in achieving centimeter-level geospatial accuracy. The integration of AI-enabled spectral analysis with GPS-based georeferencing ensures the generation of high-resolution soil maps (3-7 m), allowing precise identification of nitrogen, phosphorus, potassium, organic carbon and other vital soil attributes.

Furthermore, automated mobile platforms significantly reduce time and labor costs, increase analytical efficiency and provide valuable decision-making tools for sustainable agriculture. They support targeted fertilizer application, soil fertility management, monitoring of erosion and salinization processes and assessment of agroecological risks. The findings confirm that implementing AI- and GPS-integrated mobile systems in Kazakhstan can substantially enhance soil monitoring infrastructure, optimize agricultural resource management and strengthen long-term environmental sustainability.

Key words: soil, artificial intelligence, spectroscopy, GPS, modelling, cartography, monitoring, automation.

Авторлар туралы мәліметтер

Нұрлыбек Данабекұлы Бекен* – «Электр энергиясы жүйелері» мамандығы бойынша докторант, Автоматтандыру және басқару факультеті, Мұхамеджан Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: beken.nurlybek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7230-8979>.

Әлия Советжанқызы Тергеусизова – PhD, Жасанды интеллект және үлкен деректер кафедрасының аға оқытушысы, Cisco желілік академиясының оқытушысы, КазНУ Университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: a.tergeusizova@aes.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7230-8979>.

Сведения об авторах

Нурлыбек Данабекулы Бекен* – докторант по специальности «Электроэнергетические системы», Факультет автоматизация и управление, АЛТ Университет им. М. Тынышпаева, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: beken.nurlybek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7230-8979>.

Алия Советжановна Тергеусизова – PhD, Факультет автоматизация и управление, АЛТ Университет им. М. Тынышпаева, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: a.tergeusizova@aes.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7230-8979>.

Information about the authors

Nurlybek Danabekuly Beken – PhD student in the specialty «Electric Power Systems», Faculty of Automation and Control, ALT University named after M. Tynyshpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: beken.nurlybek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7230-8979>.

Aliya Sovetzhonovna Tergeusizova – PhD, Faculty of Automation and Control, ALT University named after M. Tynyshpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.tergeusizova@aes.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7230-8979>.

Редакцияға енуі 19.09.2025

Өңдеуден кейін түсуі 20.11.2025

Жариялауға қабылданды 24.11.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-18](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-18)

FTAXP: 68.47.31



Д.С. Буданов*, А.Ж. Тойғожинов²

Мұхамеджан Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: budanov.darhan@bk.ru

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП СЕКСЕУІЛ ТҰҚЫМДАРЫН ЖИНАУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Аңдатпа: Қазақстан шөлейттену мен жердің тозу проблемасымен бетпе-бет келіп отыр, әсіресе оңтүстік облыстар мен Арал өңірінде жыл сайын шамамен 150 миллион тонна тұздың тасымалдануы экологиялық жағдайдың нашарлауына алып келеді. Топырақты тұрақтандырудың негізгі құралдарының бірі 6 миллион гектардан астам жерді алып жатқан сексеуіл. Дегенмен, оның тұқымын жинаудың дәстүрлі әдістері тиімсіз, бұл орманды қалпына келтіру мүмкіндіктерін шектейді.

Бұл зерттеудің мақсаты қазіргі заманғы технологияларды, соның ішінде жасанды интеллект (ЖИ), қашықтықтан зондтау және робототехниканы қолдана отырып, сексеуіл тұқымын жинаудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу үшін бар әдебиеттерді талдау болып табылады. Зерттеу барысында спутниктік деректер (KazEOSat, Sentinel), терең оқыту