

А.С. Тынықұлова<sup>1</sup>, А.А. Муханова<sup>1</sup>, Г.Г. Мухамбетова<sup>2</sup>,  
Р.М. Дурбенев<sup>1</sup>, М.К. Тынықұлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Орал, Қазақстан  
E-mail: asem\_110981@mail.ru

## ЖЕР РЕСУРСТАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ӘДІСТЕРДІ ТАЛДАУ

**Андатпа.** Экожүйе қызметтерін ұсыну және биоәртүрлілікті сақтау мақсатында жерді оңтайлы пайдалану ауыл шаруашылығын басқарудағы негізгі міндеттердің бірі болып табылады. Жерді пайдалануды оңтайландыру біріншіден, белгілі бір аумақта жерді пайдаланудың қандай түрлері болуы керектігін, екіншіден, бұл жер пайдалану түрлерін нақты жер торабы бірліктеріне қалай бөлу керектігін қарастырады. Оңтайландыру әдістері әсіресе жерді пайдалану мәселелерін шешу үшін кең таралған; дегенмен, сәйкес әдісті таңдауды мүмкіндігі жоқ. Оңтайландыру әдістерінің нақты жағдайды зерттеу және қолдану мүмкіндігін арттыру мақсатында бұл зерттеу жұмысында ауыл шаруашылығы жерді пайдаланылатын оңтайландыру әдістеріне шолуды ұсынамыз. Бұл жұмыста жерді пайдалануды оңтайландырудың әдістерін жіктеу әдістерін пайдалан отырып шешімдерді қабылдау әдістерін жіктейміз және әр әдіске жеке жеке талдау жасап, олардың қолданылуын саралаймыз, сонымен қатар, жерді пайдалануды оңтайландырудың алгоритмдерін өзара салыстырып зерттеп талдаймыз. Болашақ зерттеушілер үшін жерді пайдалануды оңтайландырудың ең тиімді әдістері ұсынылады.

**Түйінді сөздер.** Генетикалық алгоритм, жерді пайдалануды оңтайландыру, библиометриялық талдау, эволюциялық процесс, экожүйелік қызмет.

### Кіріспе.

Биоәртүрлілікті жоғалтуды шешудің бір жолы - ландшафттардың көп функционалдығын қолдау үшін экожүйелік қызметтерді жүйелі табиғатты қорғауды жоспарлауға біріктіру [1] және жерді пайдалануды пайдалануды жоспарлау. Жалпы алғанда, жерді пайдалануды жоспарлау ресурстарды бөлудің бір түрі болып табылады және әртүрлі қызмет түрлерін немесе пайдалануды (мысалы, ауыл шаруашылығы, тұрғын үй жерлері) бөлу процесі ретінде анықталуы мүмкін [2]. Ауылшаруашылық жерлерін бөлу әсіресе ауылшаруашылық ландшафтарындағы аймақтарға түрлер мен қызмет түрлерін бөлумен айналысады.

Табиғи ресурстарды басқару саласындағы шешімдерді қолдау жөніндегі зерттеулер көп критерийлі шешімдерді талдауға (MCDA) және оның сәйкес құралдарына [3] сүйенді.

Жер ресурстарын басқару жүйесін жетілдіру шеңберінде жерді тиімді пайдалану жағдайларын жақсартуды жалғастыру және тиімді пайдалану пайдасына жерді қайта бөлу процестерін [4] қолдау қажет екендігі тұжырымдалған.

Жерді пайдалануды бөлу мәселелері олардың математикалық тұжырымдары бойынша айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін, сондықтан әртүрлі оңтайландыру әдістерін қажет етеді.

Бұған дейін қазақстанда Қазақстан Республикасының жер ресурстарын тиімді пайдаланудың экологиялық-экономикалық мәселелері [5] және ауыл шаруашылығында жер пайдалану мәселесі және оның элементтеріне жалпы шолу бар.

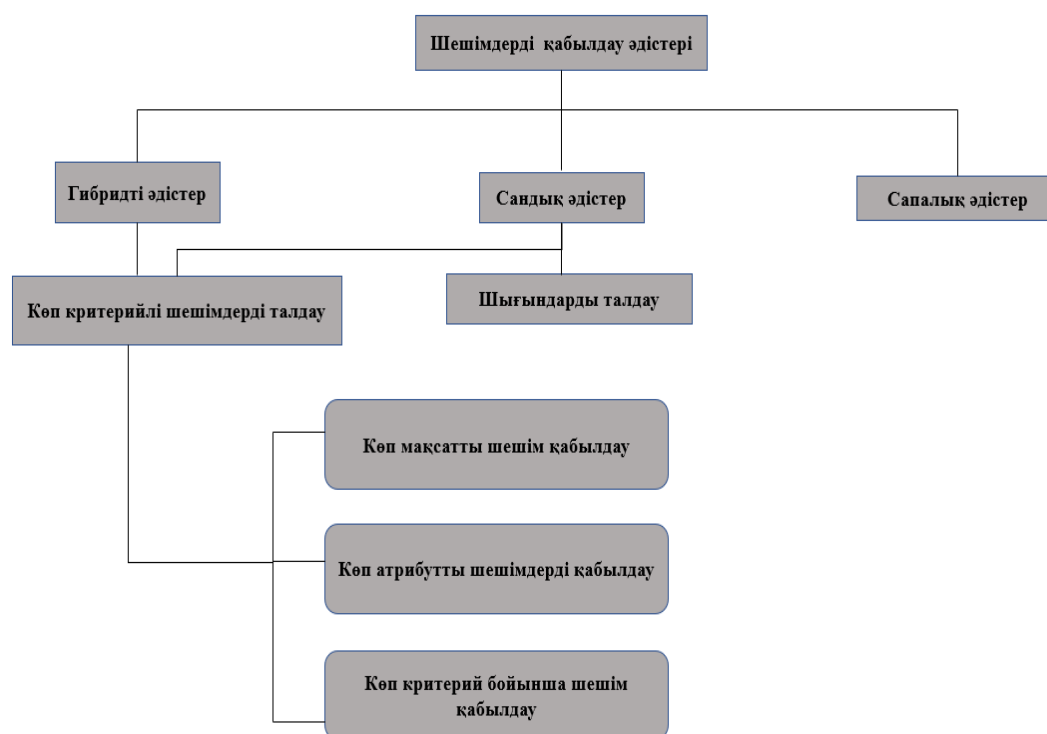
Бұл мақалада біз көп критериалды шешімдерді талдауды егжей-тегжейлі қарастырамыз және әсіресе көп критерийлі шешімдерді талдаудың бір саласына – оңтайландыру әдістеріне – назар аударамыз, өйткені жерді бөлу мәселелері математикалық оңтайландыру мәселелері ретінде кеңінен тұжырымдалған.

Көп критериалды шешімдерді талдау тәсілдері және олардың әсіресе орман шаруашылығында қолданылуы туралы кейбір шолулар болғанымен [6,7] қазіргі әдебиеттерде белгілі бір ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлерді бөлу мәселесі бойынша ең қолайлы оңтайландыру әдісін таңдауға қатысты нұсқаулар жоқ. Сондықтан, бұл жұмыс осы олқылықтың орнын толтыруға бағытталған, қазіргі көп критериалды шешімдерді талдауды оңтайландыру әдістерін және олардың жерді бөлу мәселелерінде қолданылуын қарастыру; біз ауылшаруашылық жерді пайдалану және экожүйелік қызметтер мен био әртүрлілікке байланысты мақсаттарға жетуге бағытталған зерттеулерді қарастырамыз.

### Материалдар мен тәсілдер.

*Көп критериалды шешімдерді талдауға шолу.*

Көп мақсатты шешімдерді талдау және шешім қабылдаушылардың әртүрлі пікірлерін біріктіру үшін математикалық оңтайландыруды орындау үшін көп критерийлі шешімдерді талдау кеңінен қолданылды [8]. Көп критериалды шешімдерді талдау, жер бөлу мәселелерін бір мақсатты тәсілдерге қарағанда неғұрлым шынайы түрде шешеді. 1-суретте көп критерийлі шешімдерді талдаудың жіктелуі көрсетілген.

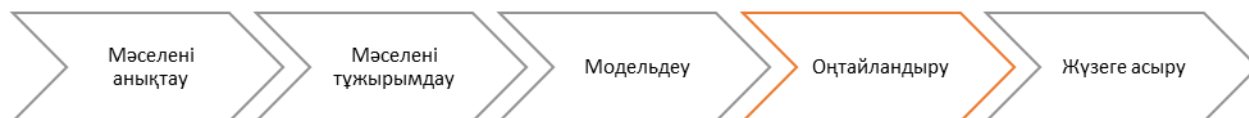


1- сурет - Шешімдерді қабылдау әдістерінің жіктелуі

Шешімдерді қабылдау әдістерінің ең көп таралған түрлері: сапалық, сандық және гибридік әдістер. Сапалық әдіс көбінесе бастапқы мақсаттарды анықтауға қолданылады. Сандық әдістер шығындар мен пайданы талдау, соның ішінде математикалық оңтайландыру әдістеріне жатады. Гибридті әдістер әртүрлі тәсілдердің

қосылысынан тұрады, орманды басқарудағы гибриді әдістеріне шолу мақаласында баяндалған [9].

1-суреттегі әдістердің жіктелуі қатаң түрде деп санауға болмайды, көп критериялды шешімдерді талдау [10] жұмысында орман шаруашылығында және табиғи ресурстарды басқаруда осы әдістің бақса түрлеріне де шолу жасалған.



2 сурет - Жерді бөлу процесінің кезеңдері

### Нәтижелер мен талқылау.

#### *Оңтайландыру әдістері.*

Жерді тиімді пайдалану 2- суретте көрсетілген қадамдардан тұрады [11]. Оңтайландыру үшін, мәселені мүмкіндігінше тезірек анықтап, нақты тұжырымдау қажет. Осы тұрғыда біз үш маңызды тармақты анықтадық:

1) Математикалық есептерді тұжырымдау: мақсаттары, шектеулері, шешім айнымалылары және есеп түрі (мысалы, сызықтық, сызықтық емес, дискретті, комбинаторлық, үздіксіз).

2) Қажетті шығыс және қажетті кіріс: проблемалық шкала (мысалы, жергілікті, жаһандық), қол жетімді саны мен түрі деректер (мысалы, жерді пайдалану карталары, жер бедері туралы ақпарат, гидрология, топырақ сапасы).

3) Мүдделі тараптардың қатысуы: оңтайландыру процесіне дейін немесе одан кейінгі жағдай.

Осы факторлардың барлығы оның көлемі мен күрделілігін анықтайды, оңтайландырудың қолайлы әдісін таңдауға және есептеу уақытына да әсер етеді. Бұл ретте оңтайландыру нәтижесінің сапасы таңдалған алгоритмнің өнімділігіне ғана емес, сонымен қатар оңтайландыру мәселесінің концептуалды дизайнына да байланысты екенін ескеру қажет. Әсіресе оңтайлы шешімдерді шешім қабылдаушылар жерді пайдаланудың жаңа стратегияларын іске асыруды ақпараттандыру және қолдау үшін пайдалана алады.

Бұл мәселелер әдетте күрделі және жоғары есептеу уақытын қажет ететін көптеген балама шешімдерді қамтиды. Комбинаторлық есептер, дискретті оңтайландыру есептерінің бір түрі ретінде, әдетте имитацияланған күйдіру, табу іздеу (Tabu search), генетикалық алгоритмдер және құмырсқалар колониясы сияқты жергілікті іздеу алгоритмдерін қолдану арқылы шешіледі. Үздіксіз есептерді құрастырудың сирек жағдайында сызықтық есептер үшін (көп мақсатты) қарапайым алгоритм сияқты стандартты әдістерді қолдануға болады, егер мәселе сызықтық емес болса, онда эвристикалық оңтайландыру әдістері қажет.

#### *Скаляризация әдістері.*

Скаляризация әдістері бірнеше мақсаттық функцияларды бір мақсатты скалярлық функцияға біріктіреді [17].

Жерді пайдалануды оңтайландыруда генетикалық алгоритмді қолданудың әзірлеу процесіне қатысты толық шолу жұмыста [18] баяндалған, Бұл мақалада соңғы 25 жылда Web of Science сайтында жарияланған 1154 сәйкес құжаттың ішінен жерді пайдалануды оңтайландыруда генетикалық алгоритмнің ағымдағы жағдайы мен даму тенденцияларын зерттеген. Генетикалық алгоритмнің ғаламдық оңтайландыру іздеу мүмкіндігін пайдалана отырып, жерді жоспарлаудың тиімді әдісін жақсарту үшін жерді пайдаланудың оңтайлы бөлу моделін құруға болады .

Скаляризация әдістерінің тағы бір алгоритмі, *мақсатты бағдарламалау (Goal programming)* - бұл эвристика алгоритмі мен генетикалық алгоритм сияқты алгоритмді шешім қабылдаушының шешім кеңістігінің таңдаулы аймағында орналасқан шешімге бағыттайтын анықтамалық нүкте әдісі.

*Парето негізіндегі әдістер.*

Паретоға негізделген әдістер бір уақытта Бірнеше Парето-оңтайлы шешімдерді шығарады және оңтайландыру нәтижесінде Бүкіл Парето шекарасын қамтамасыз ете алады. Жерді пайдалануды оңтайландыруда қолданылған генетикалық алгоритмдерді (ГА) қоса алғанда, эволюциялық алгоритмдердің (ЭА) кең спектрі бар.

Орталық Германиядағы кейс-стади аймағында биоэнергетикалық өсімдік шаруашылығы, азық-түлік дақылдарын өндіру, су мөлшері мен су сапасы арасындағы сауда-саттықты талдау мақсатында жүргізілген зерттеу жұмыстарында Парето негізіндегі әдістер мен генетикалық алгоритмді біріктіре отырып, ауыл шаруашылық жерді оңтайлы пайдалану әдістерін ұсынды [20].

Сонымен қатар, [21] зерттеулерінде көп мақсатты генетикалық алгоритмді ДАКОТА оңтайландыру жинағымен бірге біріктіріп, MODFLOW-fmp2 бағдарламалық жасақтамасын әзірледі, бұл суармалы егіншіліктің сұраныс пен ұсыныстың интеграцияланған компоненттерін имитациялайды. Олар ауыл шаруашылығынан түсетін кірістер, суды пайдалану және әрқайсысы үшін нақты өнімділік пен сұраныс өнімділігінен ауытқу арасындағы сәйкестікке негізделген үш түрлі дақылдарды таңдауды оңтайландырады.

Ауыл шаруашылығынан түсетін пайданы барынша арттырумен қатар, қоршаған ортада қоректік заттардың жоғалуын азайту, егістіктер мен шекаралардың табиғи құндылығын арттыру және ландшафттың өзгеруін барынша арттыру арқылы табиғатты қорғау мен ландшафт сапасын жақсарту мақсатында, дифференциалды эволюциялық алгоритмін пайдаланып, егін шаруашылығында егін түрлерінің сапасын анықтады. Соңғы жылдары жерді пайдалануды және ауыл шаруашылық жерді оңтайлы пайдалану ең өзекті мәселелерге айналы, сол себептіде бұл салада зерттеулердің жасанды интелектке негізделген жасанды иммундық жүйелерде бар.

*Гибридті әдістер* - Гибридті оңтайландыру тәсілдері Парето шекарасын іздеуді жеңілдету үшін бір шеңберде екі немесе одан да көп оңтайландыру әдістерін біріктіреді. АҚШ-тың Орегон штатындағы Калапоиа Өзенінің Бассейніне қолданылатын гибридті оңтайландыру тәсілінің мысалын [22] зерттеу жұмысынан табуға болады. Олардың көзқарасы SWAT су айдынының моделін экономикалық сызықтық оңтайландыру моделі және деректерді жинақтау талдауымен әдісімен біріктіреді.

Жоғарыда келтірілген әдістерден басқа, жерді бөлу мәселелерін шешу үшін көп критерийлі шешім қабылдауға қосымша әдіс ретінде анық емес бағдарламалау әдістері де қолдануға болады Wang et al. (2004).

*Шектеулерді өңдеу.*

Осы бөлімнің басында көрсетілгендей, шектеулер жерді пайдалануды бөлу есептерін математикалық тұжырымдаудың маңызды бөлігі болып табылады. Олар, мысалы, әрбір жерді пайдалануға бөлуге болатын жалпы аумақ, су сапасы мен суға сұраныс/ұсыныс шектеулері сияқты экологиялық, әлеуметтік және саяси шектеулерді көрсету арқылы мүмкін болатын шешімдердің кеңістігін шектейді. Нақты әлемдегі шектеулерді шешу оңтайландыру процесіндегі ең күрделі міндеттердің бірі болып табылады әсіресе олар мәселенің есептеу күрделілігін арттыра алатындықтан. Осы мақалада келтірілген барлық әдістер шектеулерді қолдайды, бірақ оларды өңдеу тәсілі қолданылатын алгоритмге байланысты. Эвристика үшін шектеулерді өңдеудің ең танымал әдісі мүмкін емес шешімнің жарамдылық мәнін төмендететін арнайы функция пайдалану болып табылады.

Сызықтық және квадраттық бағдарламалау әдетте шектеулерді өңдеу үшін Лагранж көбейткіштерін қолданады және сызықтық үздіксіз есептерді шектеулерді өңдеуді қамтитын симплекс алгоритмі арқылы шешуге болады. Лагранж көбейткіш әдістері туралы қосымша ақпаратты және сызықтық және сызықтық емес үздіксіз бір мақсатты есептер үшін шектеулерді өңдеу әдістері үшін [23] жұмысынан табуға болады. Сонымен қатар, 1-кестеде осы мақалада келтірілген әртүрлі әдістер үшін шектеулерді өңдеу туралы ақпарат бар.

1 кесте - Әртүрлі әдістер үшін шектеулерді өңдеу

Әдістер	Мүдделі тараптарды біріктіру			Салыстырмалы талдау	Ескертпелер	Шектеуді өңдеу
	A priori	Interactive	A posteriori			
Генетикалық алгоритмді	+	-	-	Салмақтардың /мақсаттардың өзгеруі (постериори ретінде қолданылған кезде әдісі)	Дөңгелектеп есептеу үшін Парето шекарасының кейбір бөліктерін табу мүмкін емес	Үздіксіз есептер: сызықтық алгоритм, Лагранж әдістері, пенальти функциясы
Мақсатты бағдарламалау	+	+		Нормаларды минимизациялау аусыз анықтамалық нүкте әдістері Паретоның Оңтайлы шешімдерін табады	-	Дискретті есептер: Паретоға негізделген әдістерді қосу
Табу іздеу (tabu search)	+	-	-	Жерді бөлу процесінің бастапқы кезеңіне арналған жылдам және қарапайым әдіс	Табу тізіміне, шешілмейтін функциясына орындалмайтын шешімдерді қосады	Парето негізіндегі әдістерді қосу
Гибридті әдістер	-	-	+	Техникалық-экономикалық операторлар, мүмкін емес шешімдерді жөндеу	-	Күрделі функ
Парето негізіндегі әдістер	-	-	+	Мақсатты бағдарламалау Паретоның оңтайлы шешімдерін табуға алмауы мүмкін	Генетикалық алгоритмді пайдалану	Лагранж әдістері, пенальти функциясы

Жалпы, жерді бөлу мәселелерінің көпшілігі өте күрделі, сондықтан оңтайландыру әдістерімен шешу қиын. Сондықтан сценарийді талдау кейбір жағдайларда жақсы нұсқа болуы мүмкін). Дегенмен, оңтайландыру әдістерімен жұмыс істеу шешім қабылдаушыға экологиялық, әлеуметтік және экономикалық мақсаттар арасындағы сәйкестіктерді талдау

арқылы ландшафттың әлеуетін бағалауға және жерді ағымдағы пайдалану тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Әсіресе қамтамасыз ету және мәдени экожүйе қызметтерін қарастыру үшін оңтайландыру әдістерін ұсынады. Экожүйелік қызметтерді реттеу және қолдау үшін олар көп атрибутты шешім қабылдауды топтық шешім қабылдаумен немесе кеңістіктік талдаумен үйлестіруді ұсынады, өйткені іс жүзінде олардың санын анықтау қиын болуы мүмкін.

Мүдделі тараптарды біріктіру сәті және келіссөздерді анықтау қажет пе, жоқ па деген шешім оңтайландырудың қолайлы әдісін таңдауға үлкен әсер етеді. Биофизикалық айырбастарды талдау жоғары деңгейдегі объективтілікті талап етеді. Әрине, бұл модельдеуде мүлдем мүмкін емес, өйткені көптеген модельдерде қандай да бір адам пікірі немесе тәжірибесі бар, бірақ мүдделі тараптар (кем дегенде) кейінірек қатысуы керек. Алайда, егер жалпы мақсат тек ландшафттың экологиялық әлеуетін ескере отырып, мүдделі тараптардың қалауы бойынша жер бөлу болса, онда оңтайландыру біршама субъективті болып табылады.

Парето негізіндегі әдістермен салыстырғанда скаляризацияның артықшылықтары мен кемшіліктері, ең алдымен, шешім қабылдаушының анықталатын оңтайлы шешімдер санына деген үмітіне байланысты. Шешім кеңістігінің таңдаулы аймақтарында парето-оңтайлы шешімдердің тек бір немесе шектеулі санын табу жеткілікті болса, скаляризация әдістерін орындау салыстырмалы түрде оңай және тиімді. Дегенмен, өзара талдауды аяқтау үшін Парето шекарасын оңтайландыру мәселесін бірнеше рет шешу арқылы анықтау керек және бұл есептеу үшін көп уақытты қажет етуі мүмкін. Сонымен қатар, скаляризация тәсілдері алғашқы талқылаулар үшін болжамды шешімдерді жылдам табуға қызмет ете алады. Тағы бір маңызды фактор - мәселедегі мақсаттардың саны: екіден көп мақсаттар үшін мүдделі тараптар үшін Парето шекарасының визуализациясын түсіндіру қиын болуы мүмкін. Төрттен астам мақсат үшін тіпті визуализацияның өзі қиынға соғады. Сондықтан бір шешімді тәсілдер практикалық болып көрінеді. Дегенмен, бүкіл Парето шекарасын көрсету де тиімді болуы мүмкін. Бүкіл ассортименті бірдей оңтайлы шешімдер жалғыз шешімдерге қарағанда әлдеқайда көп ақпаратты қамтиды. Бұл, мысалы, келіссөздер және жерді пайдаланудың балама нұсқалары болуы мүмкін, егер артықшылықтар алдын ала айтылған болса, өткізілмеуі мүмкін.

*Скаляризация әдістері* жоғарыда келтірілген әдістердің ішінде ең кең таралған және қолдануға оңай тәсілдердің бірі болып табылады. Осыған қарамастан, оның кейбір маңызды кемшіліктері бар: әдетте, артықшылықтар сызықтық емес қатынасқа сәйкес келеді, бірақ өлшенген қосынды тек осы функцияның сызықтық жуықтауы болып табылады. Осылайша, ол теңгерімсіз (яғни экстремалды) шешімдерді қолдайды.

*Парето негізіндегі әдістерді қолдану.*

Метаэвристика (мысалы, эволюциялық немесе генетикалық алгоритмдер) жерді пайдалануды бөлуде кеңінен қолданылады. Олар күрделі комбинаторлық және сызықтық емес есептерді шешуге қабілетті алгоритмдердің ең танымал тобын құрайды. Алгоритмдердің үш негізгі артықшылығы бар:

1) Олар градиентсіз, яғни олар күрделі, сызықты емес және үзіліссіз мәселелерді шеше алады.

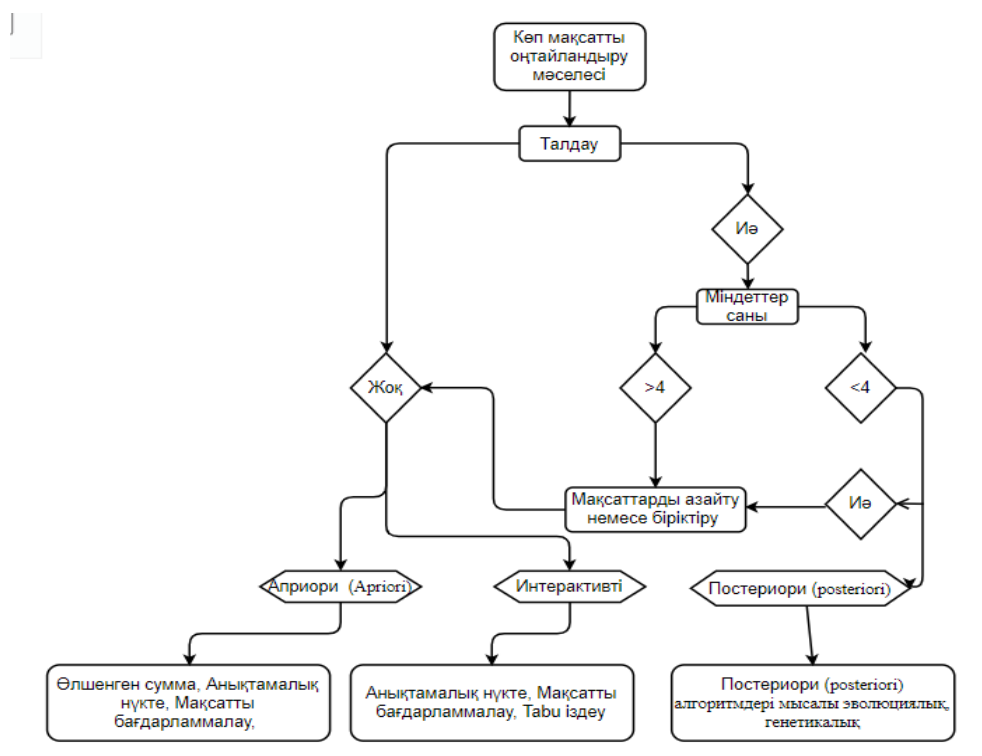
2) Олар жоғары зерттеушілікті талап етеді, бұл жаһандық оптиманы табу ықтималдығын арттырады.

3) Оларды параллель түрде жүзеге асыруға болады, бұл есептеу уақытын қысқартады.

Популяцияға негізделген алгоритмдердің бір кемшілігі - параметрді баптау көбінесе сынақ және қате арқылы жүзеге асырылады. Дегенмен, жерді бөлу контекстінде басты кемшілік Парето үстемдігінің көптеген мақсатты мәселелерге (яғни, төрт мақсаттан көп мақсаттары бар проблемалар) сәйкес келмеуі болуы мүмкін. Мұның себебі, мақсаттардың

көбеюімен басым емес шешімдердің саны экспоненциалды түрде артады, бұл алгоритмнің Парето шекарасына жақындауын қиындатады.

Қорытындылай келе, барлық оңтайландыру әдістерінің техникалық аспектілерге (мысалы, алгоритмнің күрделілігі мен есептеу уақыты), сәйкестендіруге және мүдделі тараптарды біріктіруге қатысты жеке артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Кейбір жағдайларда әртүрлі тәсілдердің комбинациясы немесе көп атрибутты шешім қабылдаумен оңтайландыру әдісі бір әдістің кемшіліктерін өтеп, басқасының пайдалы мүмкіндіктерін қоса алады. Осылайша, гибридті тәсілдер тиімдірек деген қорытынды жасауға болады. Бұл тәсіл бір деңгейлі немесе дәйекті оңтайландыру әдіспен салыстырғанда жақсы шешімдер таба алды.



3 сурет - Сәйкес оңтайландыру әдістерін құрылымдық іздеудің блок-схемасы

Әрине, 3-сурет тек жерді жоспарлаушылар үшін қолжетімді әдістерге бірінші бағдар ретінде қызмет етуі керек. Гибридті алгоритмдер немесе осы схемаға сәйкес келмейтін білімге негізделген ережелерді қолдану сияқты әдістер бар. Өйткені, алгоритмнің жарамдылығы оңтайландыру мәселесінің құрылымына өте тәуелді және әрбір мәселе бірегей болғандықтан, оңтайландыру мәселесінің кез келген түріне сәйкес келетін жалпы ұсыныс беру мүмкін емес.

### Қорытынды.

Біз ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлерді тиімді пайдалану үшін пайдалы болуы мүмкін оңтайландырудың қолжетімді әдістеріне шолуды ұсындық. Алдымен біз оларды шешімдерді қолдау әдістерінің кең ауқымына жіктедік, содан кейін әдістердің өзін ұсындық. Біз скаляризацияны (мысалы, өлшенген сома, RP, TS және SA) және Паретоға негізделген оңтайландыру әдістерін (мысалы, EAs/GAs, SI алгоритмдері) бөлдік. және олардың әрқайсысының зерттеулерін мысалдарымен көрсеттік. Біз сондай-ақ салмақтарды/мақсаттарды өзгерту және мәселені итеративті түрде шешу (скаляризация тәсілдері) немесе Парето шекарасын тікелей анықтау және талдау (Парето негізіндегі тәсілдер) арқылы айырбастарды қалай анықтауға болатынын атап өттік.

Бұдан басқа, біз әртүрлі оңтайландыру әдістері үшін шектеулерді қалай өндеуге болатынын атап өттік және мүдделі тараптарды біріктіру тақырыбын қарастырдық (априори, интерактивті, а posteriori). Сондай-ақ, оңтайлы шешімдер масштабқа байланысты болады, мысалы, белгілі бір дақылдарды бөлу ұлттық немесе тіпті жаһандық деңгеймен салыстырғанда жергілікті масштабта мүлдем басқаша көрінуі мүмкін. Сайып келгенде, жаһандық шешімдерді енгізу сәтсіздікке ұшырауы мүмкін, өйткені жер ресурстарын басқарудың әлемдік институты жоқ.

Сайып келгенде, жерді пайдалануды математикалық оңтайландыру, сондай-ақ кез келген басқа көп атрибутты шешім қабылдау әдістемесі тек шешім қабылдауды қолдау құралы болып табылатыны анық болуы керек, және олардың ешқайсысы толығымен объективті қамтамасыз етпейді. Болашақ зерттеулер үшін әртүрлі оңтайландыру алгоритмдерін біріктіретін немесе басқа көп атрибутты шешім қабылдау әдістерін біріктіретін гибридік әдістерді әзірлеу, сонымен қатар параллельдеу әдістері мен қатысу тәсілдерін қолдану ең өзекті болып саналады. Атап айтқанда, априорлы мүдделі тараптардың интеграциясы үшін біліммен негізделген ережелерді қолдану тиімді және тиімді жер пайдалану шешімдерін табуды жақсартады.

## ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Faith, D., 2015. Ecosystem services can promote conservation over conversion and protect local biodiversity, but these local win-wins can be a regional disaster. *Aust. Zool.* <https://doi.org/10.7882/AZ.2014.031>, 150623093655008.

[2] Cao, K., Huang, B., Wang, S., Lin, H., 2012. Sustainable land use optimization using boundary-based fast genetic algorithm. *Comput. Environ. Urban Syst.* 36 (3), 257e269. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.08.001>.

[3] Mendoza, G.A., Martins, H., 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For. Ecol. Manag.* 230 (1e3), 1e22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>

[4] Демидов П.В. Оценка условий воспроизводства сельскохозяйственных угодий / П.В. Демидов, А.В. Улезько // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. - №2. - С. 176-183. (0,7/0,5 п.л.)

[5] Блисов Т.М., Кудебаев Е.Е. Земельные ресурсы и условия их рационального использования.

[6] Mendoza, G.A., Martins, H., 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For. Ecol. Manag.* 230 (1e3), 1e22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>.

[7] Uhde, B., Hahn, W.A., Griess, V.C., Knoke, T., 2015. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. *Environ. Manag.* 56 (2), 373e388. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0503-3>

[8] Collins, M.G., Steiner, F.R., Rushman, M.J., 2001. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environ. Manag.* 28 (5), 611e621. <https://doi.org/10.1007/s002670010247>

[9] Uhde, B., Hahn, W.A., Griess, V.C., Knoke, T., 2015. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. *Environ. Manag.* 56 (2), 373e388. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0503-3>.

[10] Mendoza, G.A., Martins, H., 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For. Ecol. Manag.* 230 (1e3), 1e22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>.

[11] Belton, V., Stewart, T., 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis: an Integrated Approach*. Springer US.

[12] Porta, J., Parapar, J., Doallo, R., Rivera, F.F., Sante, I., Crecente, R., 2013. High performance genetic algorithm for land use planning. *Comput. Environ. Urban Syst.* 37, 45e58. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.05.003>.

[13] van Butsic, Kuemmerle, T., 2015. Using optimization methods to align food production and biodiversity conservation beyond land sharing and land sparing. *Ecol. Appl.* 25 (3), 589e595. <https://doi.org/10.1890/14-1927.1>.

[14] Miettinen, K., Mäkelä, M.M., 2002. On scalarizing functions in multiobjective optimization. *Spectrum* 24 (2), 193e213. <https://doi.org/10.1007/s00291-001-0092-9>.

[15] Ding, X., Zheng, M., & Zheng, X. (2021). The Application of Genetic Algorithm in Land Use Optimization Research: A Review. *Land*, 10(5), 526. <https://doi.org/10.3390/land10050526>

[16] Qi, H., Altinakar, M.S., 2011. A conceptual framework of agricultural land use planning with BMP for integrated watershed management. *J. Environ. Manag.* 92 (1), 149e155. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.023>

[17] Lautenbach, S., Volk, M., Strauch, M., Whittaker, G., Seppelt, R., 2013. Optimizationbased trade-off analysis of biodiesel crop production for managing an agricultural catchment. *Environ. Model. Software* 48, 98e112. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.006>.

[18] Fowler, K.R., Jenkins, E.W., Ostrove, C., Chrispell, J.C., Farthing, M.W., Parno, M., 2015. A decision making framework with MODFLOW-FMP2 via optimization: determining trade-offs in crop selection. *Environ. Model. Software* 69, 280e291. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.031>

[19] Whittaker, G., Fare, R., Grosskopf, S., Barnhart, B., Bostian, M., Mueller-Warrant, G., Griffith, S., 2017. Spatial targeting of agri-environmental policy using bilevel evolutionary optimization. *Omega* 66, 15e27. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.01.007>.

[20] Barnhart, B., Lu, Z., Bostian, M., Sinha, A., Deb, K., Kurkalova, L., Jha, M., Whittaker, G., 2017. Handling practicalities in agricultural policy optimization for water quality improvements. *ACM* 1065. <https://doi.org/10.1145/3071178.3071244>.

## REFERENCES\*

[1] Faith, D., 2015. Ecosystem services can promote conservation over conversion and protect local biodiversity, but these local win-wins can be a regional disaster. *Aust. Zool.* <https://doi.org/10.7882/AZ.2014.031>, 150623093655008.

[2] Cao, K., Huang, B., Wang, S., Lin, H., 2012. Sustainable land use optimization using boundary-based fast genetic algorithm. *Comput. Environ. Urban Syst.* 36 (3), 257e269. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.08.001>.

[3] Mendoza, G.A., Martins, H., 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For. Ecol. Manag.* 230 (1e3), 1e22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>

[4] Demidov P.V. Ocenka uslovij vosproizvodstva sel'skhozjajstvennyh ugodij / P.V. Demidov, A.V. Ulez'ko // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – 2018. - №2. - S. 176-183. (0,7/0,5 p.1.)

[5] Blisov T.M., Kudebaev E.E. Zemel'nye resursy i uslovija ih racional'nogo ispol'zovanija.

[6] Mendoza, G.A., Martins, H., 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For. Ecol. Manag.* 230 (1e3), 1e22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>.

[7] Uhde, B., Hahn, W.A., Griess, V.C., Knoke, T., 2015. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. *Environ. Manag.* 56 (2), 373e388. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0503-3>

- [8] Collins, M.G., Steiner, F.R., Rushman, M.J., 2001. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environ. Manag.* 28 (5), 611e621. <https://doi.org/10.1007/s002670010247>
- [9] Uhde, B., Hahn, W.A., Griess, V.C., Knoke, T., 2015. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. *Environ. Manag.* 56 (2), 373e388. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0503-3>.
- [10] Mendoza, G.A., Martins, H., 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For. Ecol. Manag.* 230 (1e3), 1e22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.023>.
- [11] Belton, V., Stewart, T., 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis: an Integrated Approach*. Springer US.
- [12] Porta, J., Parapar, J., Doallo, R., Rivera, F.F., Sante, I., Crecente, R., 2013. High performance genetic algorithm for land use planning. *Comput. Environ. Urban Syst.* 37, 45e58. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.05.003>.
- [13] van Butsic, Kuemmerle, T., 2015. Using optimization methods to align food production and biodiversity conservation beyond land sharing and land sparing. *Ecol. Appl.* 25 (3), 589e595. <https://doi.org/10.1890/14-1927.1>.
- [14] Miettinen, K., Mäkelä, M.M., 2002. On scalarizing functions in multiobjective  $\epsilon$  optimization. *Spectrum* 24 (2), 193e213. <https://doi.org/10.1007/s00291-001-0092-9>.
- [15] Ding, X., Zheng, M., & Zheng, X. (2021). The Application of Genetic Algorithm in Land Use Optimization Research: A Review. *Land*, 10(5), 526. <https://doi.org/10.3390/land10050526>
- [16] Qi, H., Altinakar, M.S., 2011. A conceptual framework of agricultural land use planning with BMP for integrated watershed management. *J. Environ. Manag.* 92 (1), 149e155. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.023>
- [17] Lautenbach, S., Volk, M., Strauch, M., Whittaker, G., Seppelt, R., 2013. Optimizationbased trade-off analysis of biodiesel crop production for managing an agricultural catchment. *Environ. Model. Software* 48, 98e112. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.006>.
- [18] Fowler, K.R., Jenkins, E.W., Ostrove, C., Chrispell, J.C., Farthing, M.W., Parno, M., 2015. A decision making framework with MODFLOW-FMP2 via optimization: determining trade-offs in crop selection. *Environ. Model. Software* 69, 280e291. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.031>
- [19] Whittaker, G., Fare, R., Grosskopf, S., Barnhart, B., Bostian, M., Mueller-Warrant, G., Griffith, S., 2017. Spatial targeting of agri-environmental policy using bilevel evolutionary optimization. *Omega* 66, 15e27. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.01.007>.
- [20] Barnhart, B., Lu, Z., Bostian, M., Sinha, A., Deb, K., Kurkalova, L., Jha, M., Whittaker, G., 2017. Handling practicalities in agricultural policy optimization for water quality improvements. *ACM* 1065. <https://doi.org/10.1145/3071178.3071244>.

**Assemgul Tynykulova**, doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, [asem\\_110981@mail.ru](mailto:asem_110981@mail.ru)

**Ayagoz Mukhanova**, PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, [mukhanova\\_aa\\_1@enu.kz](mailto:mukhanova_aa_1@enu.kz)

**Gainesh Mukhambetova**, senior lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan State University, Uralsk, Kazakhstan, [Gainesh\\_65@mail.ru](mailto:Gainesh_65@mail.ru)

**Raiymbek Durbenov**, doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, [programmankz@gmail.com](mailto:programmankz@gmail.com)

**Marat Tynykulov**, candidate of agricultural sciences, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, [tynykulov@list.ru](mailto:tynykulov@list.ru)

## PROBLEMS OF CREATING AN INFORMATION SYSTEM FOR OPTIMIZING LAND RESOURCES AND ANALYSIS OF METHODS

**Abstract.** Optimal land use in order to provide ecosystem services and preserve biodiversity is one of the main tasks in agricultural management. Optimization of land use involves, firstly, what types of land use should be in a particular area, and secondly, how these types of land use should be divided into specific land grid units. Optimization methods are especially common for solving land use problems; however, there is no way to choose the appropriate method. In order to increase the possibility of studying and applying optimization methods to a specific situation, we present in this research paper an overview of the optimization methods used in agricultural land. In this paper, we classify the methods of decision-making using the methods of classification of methods for optimizing land use and conduct an individual analysis of each method and analyze their application.

**Keywords.** Genetic algorithm, optimization of land use, bibliometric analysis, evolutionary process, ecosystem activity.

**Асемгуль Тыныкулова**, докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, asem\_110981@mail.ru

**Аягоз Муханова**, PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, mukhanova\_aa\_1@enu.kz

**Гайнеш Мухамбетова**, старший преподаватель, Западно-Казахстанский государственный университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан, Gainsesh\_65@mail.ru

**Райымбек Дурбенов**, докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан programmankz@gmail.com

**Марат Тыныкулов**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, tynkulov@list.ru

## ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

**Аннотация.** Оптимальное использование земли с целью предоставления системных услуг и сохранения биоразнообразия является одной из основных задач в управлении сельским хозяйством. Оптимизация землепользования предусматривает, во-первых, какие виды землепользования должны быть на определенной территории, а во-вторых, как эти виды землепользования следует разделить на конкретные единицы земельного участка. Методы оптимизации особенно распространены для решения проблем землепользования; однако нет возможности выбрать подходящий метод. В этой исследовательской работе мы предлагаем обзор методов оптимизации, используемых сельскохозяйственными землями, с целью увеличения возможности изучения и применения конкретных условий методов оптимизации. В данной работе мы классифицируем методы принятия решений с использованием методов классификации методов оптимизации землепользования и проводим индивидуальный анализ каждого метода и дифференцируем их применение, а также сопоставляем между собой алгоритмы оптимизации землепользования.

**Ключевые слова.** Генетический алгоритм, оптимизация землепользования, библиометрический анализ, эволюционный процесс, экосистемная деятельность.

\*\*\*\*\*