



Ғылыми мақала

ШӨЛЕЙТТІ АУМАҚ ЛАНДШАФТТАРЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК - УАҚЫТТЫҚ ДИНАМИКАСЫНЫҢ ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІ

Баян С. Керімбай*  PhD., Нұржан Н. Керімбай  г.ғ.к., асс.проф., Қуат М. Баймырзаев  г.ғ.д., Лаура С. Байбатырова 

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған қ, Қазақстан; kbszhetyu@gmail.com (БСК), nkerimbay1964@gmail.com (ННК), niibiotechresearch@zuedukz (ҚМБ), baybatyrova1989@gmail.com (ЛСБ)

*Автор корреспонден: Баян С.Керімбай, kbs.zhetyu@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

ландшафт динамикасы;
Сарытоғай қонысы;
реликті Соғды ерені тоғайы;
геокеңістіктік талдау;
орнықты ландшафттық
басқару

АБСТРАКТ

Бұл зерттеу Алматы облысының Шарын мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің аумағында орналасқан реликті Соғды ерені (*Fraxinus sogdiana*) тоғайы ландшафттарының кеңістіктік-уақыттық динамикасын қарастырады және олардың орнықты басқару мен геожүйелерді сақтаудағы маңызын бағалайды. 2016...2024 жылдар аралығындағы өзгерістер өсімдік жамылғысы негізінде Sentinel-2 спутниктік деректері мен геоақпараттық талдау әдістері арқылы зерттелді. Әдістемеге NDVI уақыттық қатарларын талдау, картографиялық визуализация, беткей-экспозиция корреляциясы, биоалуандық пен экологиялық тәуекелдің кеңістіктік үлгілерін анықтау кірді. Бұл тәсілдер ландшафттарды қалпына келтіру мен қорғау шаралары үшін басым аймақтарды айқындауға мүмкіндік берді. Нәтижелер өсімдік жамылғысының айқын ауытқуларын көрсетті. Олар антропогендік қысымдармен (мал жайылымы, рекреациялық қызмет), климаттың өзгергіштігімен және өзен аңғарларындағы жасыл аумақтардың азаюымен байланысты. Зерттеу экологиялық деградацияның ерте белгілерін анықтауда үздіксіз геокеңістіктік мониторингтің маңызын дәлелдейді және реликті орман геожүйелерінің тұтастығын сақтауға арналған ғылыми негізделген ұсыныстар жасайды. Бұл тұжырымдар шөлейтті аумақтарда биоалуандықты сақтау мен орнықты ландшафттық басқару үшін кең ауқымды мәнге ие.

1. КІРІСПЕ

Табиғи ландшафттар экологиялық тұрақтылық үшін негіз болып табылады. Олар маңызды геожүйелік қызметтерді қамтамасыз етеді, сондай-ақ аймақтарды дамытуда, орнықты туризмде және экологиялық білім беруде әлеуетке ие. Ғаламдық климаттың өзгеруі, жердің деградациясы сондай-ақ антропогендік қысымның күшеюі жағдайында ландшафттарды сақтаудың маңыздылығы артуда [1,2]. Қазақстан ландшафттары жоғары биологиялық алуан түрлілігімен, айқын геоморфологиялық құрылымдарымен ерекшеленеді. Олар елеулі экологиялық және мәдени құндылықтарды біріктіретін күрделі табиғи геожүйелерден тұрады.

Мақала жайында:

Жіберілді: 08.05.2026

Қайта қаралды: 25.05.2026

Қабылданды: 24.08.2026

Жарияланды: 01.10.2026

Дәйексөз үшін:

Керімбай Б.С., Керімбай

Н.Н., Баймырзаев Қ.М.,

Байбатырова Л.С.,

Шөлейтті аумақ

ландшафттарының

кеңістіктік-уақыттық

динамикасының

геоэкологиялық

мониторингі //

Гидрометеорология және

экология, 123 (3), 2026,

273-288.

Ландшафт динамикасының мониторингі қазіргі географиялық зерттеулердің негізгі бағыттарының бірі ретінде, зерттеушілер үшін деградация үрдістерін анықтауға, табиғи және антропогендік қызметтің әсерін бағалауға және геожүйелердің қалпына келу қабілетін айқындауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе биоалуандыққа бай аймақтар – Шарын мемлететтік ұлттық табиғи паркі (МҰТП) мен Сарытоғай қонысы үшін аса маңызды. Зерттеу жұмысында ландшафттардың динамикасы өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін талдау негізінде қарастырылды. Бұл көрсеткіш экологиялық үдерістердің, ландшафттардың тұрақтылығы мен қоршаған ортаның орнықтылығының сезімтал индикаторы ретінде қызмет етеді [3,4].

Зерттеудің мақсаты – Жерді қашықтықтан зондау (RS) технологиясы негізіндегі деректер мен NDVI мәндерін пайдалана отырып, Сарытоғай қонысы ландшафттарының динамикасына кешенді географиялық талдау жүргізу. Зерттеу міндеттері: 1) Сарытоғай қонысы ландшафттарының өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық динамикасын бағалау (2016...2024 жылдар аралығы). 2) NDVI талдауына негізделген биоалуандық және экологиялық тәуекел аумақтарын анықтау.

RS технологиялары кең әрі әртекті аумақтардағы өсімдік үлгілерін зерттеуге қуатты құралдар ұсынады. Sentinel-2 спутниктік суреттері мен өсімдік индекстері, әсіресе NDVI, өсімдіктің өнімділігі, маусымдық ауытқулары және ұзақ мерзімді экологиялық үрдістер туралы нақты әрі қайталанатын деректер береді [5,6]. Бұл әдістер далалық зерттеулердің шектеулерін еңсеріп, өзен аңғарлары, каньондар және шөлейт зонасының құрғақшылық жағдайларында ерекше тиімді болып табылады.

Орталық Азияда NDVI және EVI сияқты RS негізіндегі индекстер өсімдік динамикасын таулы аңғарларда, өзен алаптары ландшафттарында бағалау үшін кеңінен қолданылып келеді. Бұл зерттеулер аймақтық геожүйелердің климаттық өзгерістікке сезімталдығын айқындады [7...9]. Осындай индекстер жерді басқаруда ғылыми негізделген тәсілдерді дамыту үшін ықпал ете алады, биоалуантүрліліктің, топырақ ылғалдылығының сондай-ақ геожүйе өнімділігінің жанама көрсеткіштері ретінде қызмет етеді.

Қазақстанда реликті геожүйелердің ұзақ мерзімді өсімдік динамикасына байланысты зерттеулер әлі де аз. Дегенмен, RS қолданбаларында едәуір ілгерілеушілік пайда болды. Сарытоғай қонысы ерекше биогеожүйе ретінде танылады. Онда эндемикалық ағаш түрлері қамтылған. Онда реликтілі ағаш түрлері (*Fraxinus sogdiana*, *Populus diversifolia*) де қамтылған. Бұл түрлер экологиялық тұрақтылықтың көрсеткіштері болып табылады және биоалуантүрлілік үшін табиғи қорық ретінде әрекет етеді. Мұндай ортада өсімдік жамылғысының кеңістіктік құрылымын түсіну үшін, сондай-ақ динамикасын білу үшін қажет. Бұл табиғатты қорғау стратегияларын жасау үшін және орнықты туризм үлгілерін іске асыру үшін өте маңызды.

Осы зерттеуде қолданылған әдістемелік негіз ландшафтық-экологиялық тәсілге негізделеді. Ол табиғи аумақтардың орнықтылығын жан-жақты бағалауға жол ашады [10] және Сарытоғай қонысы іспетті аумақтардың дамуындағы экологиялық бағытталған рөлін көрсетеді. Орман жамылғысының қолайлы экологиялық жағдайларды сақтаудағы рөлі өте шешуші болып табылады. Реликтілі Соғды ерені тоғайы биоалуандылықты қолдауда маңызды рөл атқарады, сондықтан тұрақты мониторинг пен қорғауды жоспарлауды қажет етеді [11,12].

Рефугиум популяциялардың жойылуын болдырмайтын, яғни оқшау тіршілік етіп, артынан қайта таралуына септігін тигізетін климаттық, геоморфологиялық яғни антропогендік өзгерістер кезеңіндегі аумақ саналады. Таулы шатқалдармен өзен аңғарларындағы ылғалды орман массивтері сирек. Олар эндемик түрлер үшін рефугиум қызметін атқара алады. Сарытоғай қонысындағы Соғды ерені (*Fraxinus sogdiana*) тоғайын зерттеудің маңыздылығы айқын көрінеді. Зерттеу табиғи ортаны сақтау үшін өзен алабы ландшафттарына тән бейімделулерді көрсетеді.

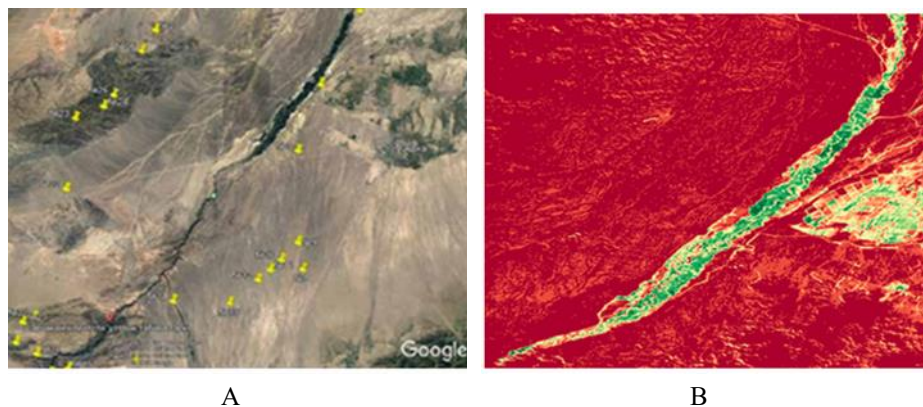
Дүниежүзілік деңгейде табиғи рефугиум тұжырымдамасы биоалуантүрлілікті сақтау құралы ретінде танылған. Ол климаттық бейімделуге қоса орнықты ландшафттық басқарудың стратегиялық құралы болып табылады. АҚШ, Еуропа және Жерорта теңізі аймақтарындағы ізденістер тұрақты өсімдік жамылғысы бар жерлердің биоалуантүрлілікті сақтайтынын, экологиялық процестерге көмектесетінін әрі экотуризм мен экологиялық ағартуды жетілдіретінін дәлелдейді [13...15].

Осы халықаралық тәсілдерді Орталық Азияның экологиялық сондай-ақ әлеуметтік-экономикалық жағдайына икемдеу қорғалатын аумақтардың тұрақтылығын көтеру үшін аса маңызды. Жалпы алғанда, бұл зерттеу табиғи ортаның тұрақты дамуы үшін, табиғатты қорғауды жоспарлау үшін және экологиялық білім беру үшін табиғи рефугиумның маңызын айқындайды.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу аумағының географиялық сипаттамасы. Сарытоғай қонысы Қазақстанның оңтүстік - шығысында, Солтүстік Тянь-Шань тауларының етегінде, Шарын өзенінің ағындының транзиттік зонасы аумағында, Алматы облысы, Ұйғыр ауданында орналасқан. Іле ойпатының орталық бөлігіндегі бірегей биогеожүйе болып табылады және 2004 жылдан бастап Шарын МҰТП-нің құрамына кіреді. Табиғи парк – бірегей, ерекше экологиялық, тарихи және эстетикалық құндылыққа ие табиғи тау ландшафттарын және оған іргелес жазықтарды сақтап, сондай-ақ табиғатты ұтымды пайдалану мен орнықты әлеуметтік-экономикалық дамуды қамтамасыз етіп отыр [16,17].

2018 жылы “Шарын биосфералық резерваты” құрылуымен, бұл аумақ “ЮНЕСКО биосфералық резерваттарының” халықаралық желісіне енгізілді. Оның қамтитын жалпы аумағы 239,7 мың гектарды құрайды (координаттары: 43°57'59"N, 80°4'30"E). Қорықтың негізгі функционалдық аймақтары бар. Олар Шарын МҰТП аумағымен сәйкес келеді. Сарытоғай қонысының ұзындығы шамамен 25 км, ені 2 км-ге дейін жетеді. Ол Шарын аңғарының ең кең бөлігін құрайды, (сурет 1).



Сурет 1. Сарытоғай қонысының ғарыштық суреттері: А – бақылау нүктелерінің координаттары көрсетілген бейнесі (Google Earth, 2016 ж.); В – спутниктік суреті (Sentinel-2, 2024 ж.)

Бұл аумақ күрделі жер бедерімен сипатталады, сондай-ақ ол шөлді-континенттік климатымен және жоғары биоалуандығымен ерекшеленеді. Ол Шарын өзенінің каньон іспетті аңғарын, реликтілі Соғды еренінің тоғайын және Үлкен-Бұғұты жотасының шөлді және тау-далалық ландшафттарын ішіне алады. Ең маңызды табиғи ерекшеліктердің бірі болып табылады мемлекеттік табиғи ескерткіш секілді қорғалатын реликтілі жалпақ жапырақты Соғды ерені тоғайы (*Fraxinus sogdiana*). Бұл орман аймағы флораның сирек

түрлері үшін табиғи қорық болып, ерекше биогеоценоздардың сақталуына өз септігін тигізеді.

Шарын ерені тоғай өсімдіктерінің арасындағы ең құнды түрлерінің бірі болып табылады. Ол Қазақстанның дәл осы бөлігінде эндемик болып табылатын байырғы Соғды еренінің реликтілі шоқ тоғайларын қамтиды. Аталған орман реликтілі түрлердің гендік қорын сақтауда және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуде елеулі рөлді атқарып отыр [18]. Оның халықаралық маңызы ЮНЕСКО биосфералық қорықтар желісіне енгізілуі арқылы айқындалады. Бұл оның жаһандық табиғи мұра үшін құндылығын көрсетеді.

Соңғы ғасырда Соғды ерені тоғайының аумағында айтарлықтай өзгерістер орын алды, әрі бұл кесте 1-де көрсетілген. *Fraxinus sogdiana* сияқты, тоғайда геожүйенің тұрақтылығына және экологиялық орнықтылыққа үлес қосатын басқа да сирек түрлер, атап айтқанда, тораңғы терегі (*Populus diversifolia* Schrenk) бар [17,19].

Кесте 1

Сарытоғай қонысындағы Соғды ерені (*Fraxinus sogdiana* Rupr.) тоғайы аумағының соңғы 100 жылдағы өзгерістері

жыл	1926	1943	1990	2023
аумағы, га	1100	410	812	5000

Климат және гидрология. Климат айқын континенттілік сипатында, орташа жылдық температура шамамен +5 °C шамасында (қаңтардағы минимум –6 °C-қа дейін, шілдедегі максимум +27 °C-қа дейін). Аязсыз кезең 180 күнге жуық уақытты алады, сонымен қатар құрғақ кезеңдер 40 күнге дейін созылуы ықтимал. Қар жамылғысы жұқа (10...20 см) әрі ол шамамен 60 күндей сақталады (желтоқсан, ақпан). Орташа есеппен жылдық жауын-шашын мөлшері 150 мм-ге дейін жетеді.

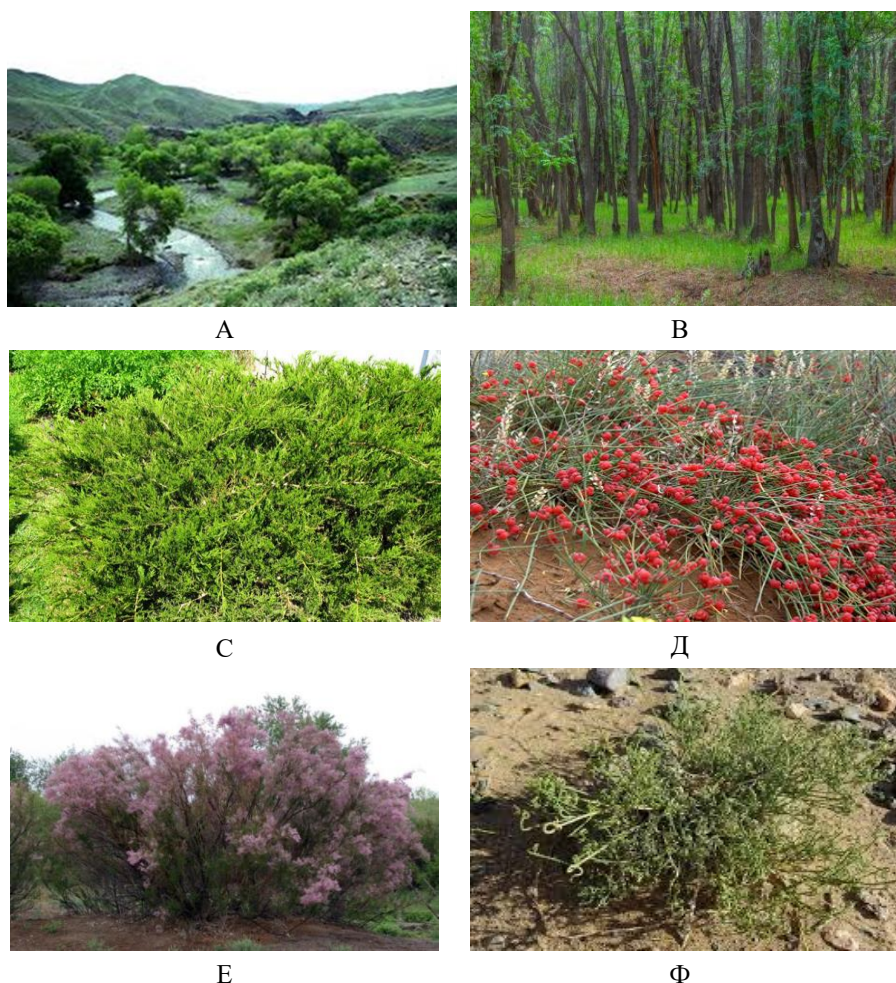
Шарын өзені Іле өзені үшін сол жақтағы ең үлкен сала болып табылады әрі ол негізгі су арнасы болып саналады. Оның бастаулары Қетмен жотасының (Ұзынқара) оңтүстік беткейлерінде орналасқан және қар сызығынан жоғары көтеріледі. Ол әртүрлі биіктік белдеулерін кесіп өтеді. Өзен үшін жоғары су шығыны тән. Оған қоса айқын маусымдық тасқындары бар [20].

Биоалуандылық және геожүйелер. Биоалуандыққа қатысты деректер табиғатты қорғаудың ресми көздерінен алынды. Бұл ақпарат [17] арқылы берілген. Өсімдік жамылғысы Сахара, Гоби аймағына, Иран, Тұран кіші аймағына және Жоңғар провинциясына тән, ол ойпатты-шөлді ландшафттарға лайық. Шарын МҰТП аумағындағы негізгі өсімдік типтеріне дала, шөл, бұталы жамылғы кіреді. Сондай-ақ, шабындық, батпақты әрі тоғай жамылғысы да кіреді. Геоморфологиялық күрделілік пен өзен алабының орналасуы өсімдік жамылғысының кеңістіктік өзгермелілігін анықтайды деп айтуға болады [19].

Реликтілі өсімдік қауымдастықтарының, (әсіресе *Fraxinus sogdiana* Bunge) сақталуына аймақтың геологиялық және климаттық жағдайлары себеп болды. Бұл палеоген, неоген кезеңінің реликтілі түрі 20...25 м биіктікке жетеді, сондай-ақ діңінің диаметрі 1,5 м-ге дейін, сирек әрі кең тәжі, ашық сұр қабығы, қызғылт немесе сұрғылт бұтақтары бар [21,22].

Жергілікті жерлерде бұл ағаш «Түркістан ерені», «Сырдария ерені» немесе «Өзен ерені» деп аталады. Осы ағаш Қазақстан мен Орталық Азиядағы Сарытоғай қонысын құрайды әрі Қазақстанның Қызыл кітабына енгізілген, жалғыз реликтілі тоғай болып табылады. Тоғай Шарын өзенінің жайылмасын басым қамтиды, сондай-ақ террасаларын қамтиды. *Fraxinus sogdiana* *Tamarix spp.*, *Haloxylon spp.*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Ephedra distachya* және *Ephedra przewalski* түрлерімен қатар өседі. Өзен жайылмасы бойында арша (*Juniperus sabina*), теңіз шырғаны (*Hippophae rhamnoides*) және тал (*Salix spp.*) өседі, ал биік террасаларда жиде (*Elaeagnus spp.*) мен аралас шөпті қауымдастықтар кең таралған. Таза ерен ормандары жалпы орманды жердің шамамен 35%-ын көрсетеді,

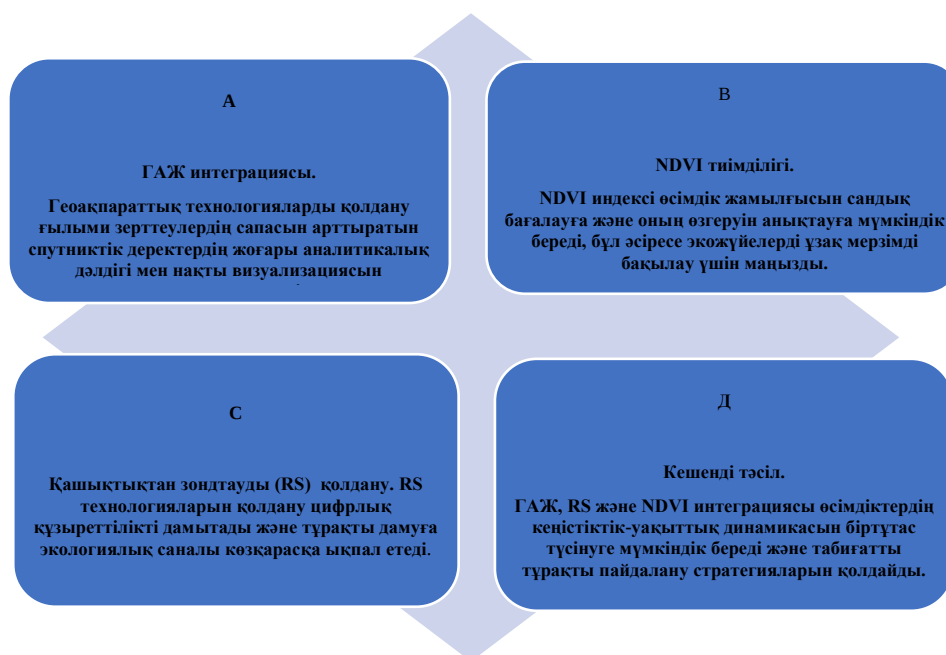
сонымен қатар онда басқа популяциялар мен қарағай-ерен бірлестіктері де кездеседі [19,20] (2-сурет).



Сурет 2. Сарытоғай қонысының өсімдік жамылғысы (А – өзен жайылмасы бедерінің құрылымы; В – *Fraxinus sogdiana* Bunge, Соғды ерені; С – *Juniperus sabina* L., арша; Д – *Ephedra distachya* L., эфедра; Е – *Tamarix* spp., жыңғыл; Ф – *Ephedra przewalskii* Stapf, Пржевальский эфедрасы)

Populus diversifolia Schrenk (торанғы терегі), жоғарғы террасаларда өсетін сирек кездесетін түр. Сонымен қатар жоғарғы террасаларда жиде (*Elaeagnus angustifolia* L.), жыңғыл (*Tamarix* spp.) және талдың (*Salix* spp.) әр алуан бұталары өседі. Каньон беткейлерінде сексеуіл (*Haloxylon* spp.) әрі эфедра (*Ephedra* spp.) басым таралған екен. Шөптесін қабатқа бетеге (*Stipa* spp.), ферула (*Ferula* L.), қамыс (*Phragmites australis*) және қияқ (*Carex* spp.) кіреді, алайда тығыз Ерен тоғайларында ол некен-саяқ немесе тіпті кездеспейді.

Зерттеудің әдіснамалық негіздемесі (сурет 3) өзара байланысты тәсілдерді де қамтиды ішіне. ГАЖ интеграциясы арқылы деректерді дәл талдау мүмкін болады, NDVI индексі көмегімен өсімдік жамылғысының өзгерістерін сандық бағалау жүзеге асады, ал қашықтан зондтау әдістері арқылы экожүйелерді бақылау қолдау табады. Осы амалдардың толық үйлесімі ландшафтық динамиканы терең түсінуге әрі орнықты басқару стратегияларын жасауға негіз жасайды.



Сурет 3. Зерттеудің әдістемелік негіздемесі (А – ГАЗ интеграциясы; В – NDVI тиімділігі; С – Қашықтан зондтау әдістерін қолдану; Д – Кешенді тәсіл)

Спутниктік деректерді талдау әдісі. Мәліметтерді өңдеу мен NDVI есептеуі ГАЗ бағдарламалық жасақтамасы, атап айтқанда QGIS пен Google Earth Engine арқылы іске асырылды. NDVI өсімдік жамылғысының тығыздығын сандық тұрғыдан бағалауға сондай-ақ әртүрлі биомассасы бар аймақтарды айқындауға мүмкіндік береді делік.

NDVI стандартты формула бойынша есептелді. Осылайша есептеу жүргізілді.

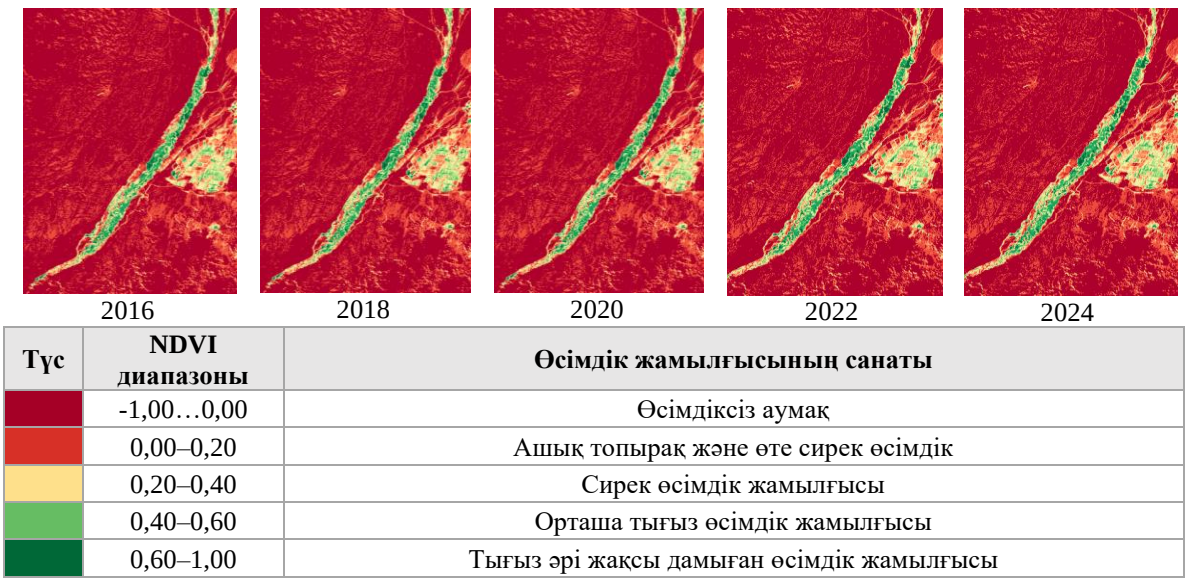
$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ болып табылады және ол (1) формуласымен көрсетіледі.

NIR , жақын инфрақызыл диапазоны, әсіресе 8-арна; Red , қызыл диапазоны, яғни 4-арна. NDVI мәндері -1-ден +1-ге дейін өзгереді, себебі жоғары мәндер тығыз өсімдік жамылғысын көрсетеді. Нөлге жақын мәндер сирек немесе күйзелген өсімдікті көрсетеді, сондай-ақ теріс мәндер су айдындары немесе жалаңаш топырақты білдіреді. Алынған NDVI деректері векторлық маска қабаттары арқылы және жер жамылғысы карталарын пайдалана отырып визуализацияланды әрі интерпретацияланды. Жоғары NDVI мәндері *Fraxinus sogdiana* Bunge және *Populus diversifolia* Schrenk секілді реликтілі өсімдіктер үшін сәйкес келеді.

Кешенді әдістемелік тәсіл Геоаппараттық жүйе (GIS) негізіндегі кеңістіктік талдауды біріктіреді. Ол сондай-ақ өсімдік жамылғысының жағдайын сандық бағалауға арналған NDVI көрсеткішін және геожүйелерді мониторингтеуге арналған RS технологияларын біріктіреді. Осы үйлесім өсімдік жамылғысының динамикасын толық түсінуге жол ашып, табиғи ресурстарды тұрақты басқару, биоалуандылықты сақтау, сонымен қатар рекреациялық және қорғалатын аймақтарды дамыту жайында ұсыныстар жасауға мықты ғылыми негіз орнатады.

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Ландшафттардың өсімдік жамылғысының негізі зерттелген динамикаға ие; ол климаттық өзгергіштік пен антропогендік қысымның әсерін көрсетеді. Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдері арқылы өсімдік тығыздығының уақыттық әрі кеңістіктік өзгерістерін көрсетеді. Сандық өзгерістер 2-кестеде жинақталған, әрі олардың кеңістіктік таралуы 4-суретте бейнеленген.



Сурет 4. Шарын өзені алабы, Сарытоғай қонысы ландшафттарының NDVI динамикасы, 2016...2024 жж., Sentinel-2 спутниктік деректері бойынша

2016...2024 жылдардағы Сарытоғай қонысы аумағындағы өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін сандық бағалау үшін талдау жасалды. Вегетациялық кезеңнің басындағы (орташа а) жанында және соңындағы (орташа б) NDVI көрсеткіштерінің ең төменгі, ең жоғары және орташа мәндері 2-кестеде жинақталған. Осы индикаторлар геожүйенің жалпы тұрақтылығын әрі өсімдік жамылғысының кеңістіктік әркелкілігін сипаттайтыны туралы.

Кесте 2

2016...2024 жылдар аралығында Сарытоғай шатқалындағы вегетациялық NDVI көрсеткіштерінің ең төменгі, ең жоғары және орташа мәндері (Дереккөз: EOS Data Analytics; деректерді авторлар өңдеген)

жылдар	NDVI			
	mean a	mean b	min	max
2016	0.47	0.56	-0.35	0.81
2018	0.46	0.53	-0.27	0.81
2020	0.27	0.21	-0.28	0.77
2022	0.45	0.52	-1.00	0.81
2024	0.46	0.53	-0.47	0.85

Талдау нәтижелеріне сәйкес орташа NDVI мәндері (mean a және mean b) зерттеу кезеңінде салыстырмалы түрде тұрақты күйінде болып, геожүйенің жалпы тұрақтылығын көрсетеді. Дегенмен 2022 жылы тіркелген ең төменгі шектік NDVI мәні (- 1,00) жергілікті жердің нашарлауын я болмаса экстремалды климаттық құбылыстардың әсерін білдіреді. Дегенмен, ең жоғары NDVI көрсеткіштері жағымды тенденцияны көрсетеді: 2024 жылы 0,85 деңгейіне жетуі шатқалдың кейбір бөліктерінде өсімдік жамылғысының жағдайы жақсарғанын білдіреді. NDVI диапазондарына сүйенген өсімдік жамылғысы сыныптарының кеңістіктік динамикасы 3-кестеде қорытылған. Зерттеу кезеңі барысында қалың өсімдік жамылғысы бар аумақтарда ауытқулар байқалды. Аса қалың өсімдік жамылғысының ең елеулі артуы 2022...2024 жылдары тіркелді. Орташа және сирек өсімдікті аумақтарда аздаған қысқару байқалды. Жалаңаш топырақ пен өсімдік жамылғысы жоқ жерлердің үлесінде құбылмалы сипат болды. Бұл өзгерістер маусымдық ерекшеліктерге, антропогендік қысымға және жергілікті бұзылуларға байланысты болуы мүмкін.

Кесте 3

2016...2024 жылдар аралығында Сарытоғай шатқалындағы ландшафт аумақтарының Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) мәндері бойынша динамикасы (км²) (Дереккөз: EOS Data Analytics негізінде; авторлардың деректерді өңдеуі)

NDVI мәндері	Өсімдік жамылғысының түрлері	Жылдар бойынша аумақ (км ²)				
		2016	2018	2020	2022	2024
0,8 to-1	Өте тығыз өсімдік жамылғысы	0,001	0,028	0,00	7,51	7,74
0,6-0,8	Тығыз өсімдік жамылғысы	39,56	39,04	31,59	34,69	34,52
0,4-0,6	Қоғыржай өсімдік жамылғысы	15,37	15,05	15,51	12,67	12,60
0,2-0,4	Сирек өсімдік жамылғысы	3,11	3,35	4,45	2,37	2,37
0,1-0,2	Ашық топырақ	3,22	3,29	5,28	2,14	1,98
-1 to- 0.1	Өсімдік жамылғысы жоқ	1,24	1,75	5,65	3,12	3,26

2016 мен 2024 жылдардың аралығында Сарытоғай қонысы жөніндегі ең төменгі, ең жоғары әрі орташа NDVI мәндерін талдау вегетациялық кезең басында және аяғындағы (mean a және mean b) орташа көрсеткіштердің біршама тұрақты болғанын, тек қана шағын ауытқулардың байқалғанын көрсетті. Бұл геожүйелік деңгейдегі өсімдік жамылғысы құрылымының жалпы сақталуының дәлелі болып табылады.

NDVI-дің ең төменгі мәнінің 2022 жылы күрт төмендеуі (-1,00-ге дейін) экстремалды климаттық құбылыстардың немесе жергілікті экологиялық стресс факторларының әсерімен байланысты болуы мүмкін шығар. Ең жоғары NDVI мәндері оң үрдіс көрсетті және 2024 жылы ол 0,85-ке жетті. Бұл шатқалдың жекелеген бөліктерінде өсімдік жамылғысы жағдайының жақсарғанын білдіреді. Мұндай өзгерістер табиғи қалпына келу үдерістері арқылы немесе табиғатты қорғау шараларының нәтижелері арқылы түсіндірілуі мүмкін. Ең жоғары NDVI мәндерінің жоғарылауы мен қалың өсімдік жамылғысы аумағының ұлғаюы қолайлы климаттық жағдайлармен, гидрологиялық режимнің қайта қалпына келуімен және жерді қалпына келтіруге арналған мақсатты антропогендік іс-шаралармен байланысты болуы мүмкін. Жалаңаш топырақ әрі өсімдік жамылғысы жоқ аумақтардың қысқаруы экологиялық тепе-теңдіктің біртіндеп қалпына келуін көрсетеді.

Кеңістіктік-уақыттық талдау аса қалың өсімдік жамылғысы аумағының 2016 ж. 0,001 км²-ден бастап 2024 ж. 7,74 км²-ге дейін айтарлықтай артқанын байқатты, әрі бұл геожүйенің қалпына келуіндегі оң үрдістерді растайды. Сонымен қатар қалың өсімдікті аумақтар 39,56 км²-ден 34,52 км²-ге дейін қысқарды; бұл өсімдік қауымдастықтарының қайта бөлінуін және сукцессиялық сатылардағы өзгерістерді білдіреді. Орташа әрі сирек өсімдікті типтер де 2020 ж. кейін азайған болатын. Жалаңаш топырақ аумақтарының қысқаруы арқылы жалпы өсімдік жамылғысының ұлғайғаны көрінеді.

Зерттеудің алғашқы кезеңінде (2016...2018 жылдары) өсімдік жамылғысы, оның ішінде жайылмалы аймақтар мен каньон беткейлерінде үзік-үзік сипатта болды. 2020...2022 жылдардың ішінде өзен жайылмалары мен террасаларында өсімдік жамылғысының айқын қалпына келуі байқалды. Бұл аралықта қалпына келу анық болды. NDVI жоғары мәндері арқылы аталған аумақтардың геожүйелік қызметтерді сақтаудағы елеулі рөлі дәлелденді. Бұл жағдай су теңгерімінің жақсаруымен, сондай-ақ антропогендік қысымның кемуімен байланысты болуы мүмкін. Дегенмен, каньон беткейлерінде өсімдік тығыздығы климаттық әсерлер себебінен төмен күйінде қалып отыр және эрозиялық үдерістер салдарынан әсер етеді. Осыған байланысты нысаналы табиғат қорғау шараларын жүргізу қажеттігі туындайды. Сол себепті тиісті шараларды қолға алу керек.

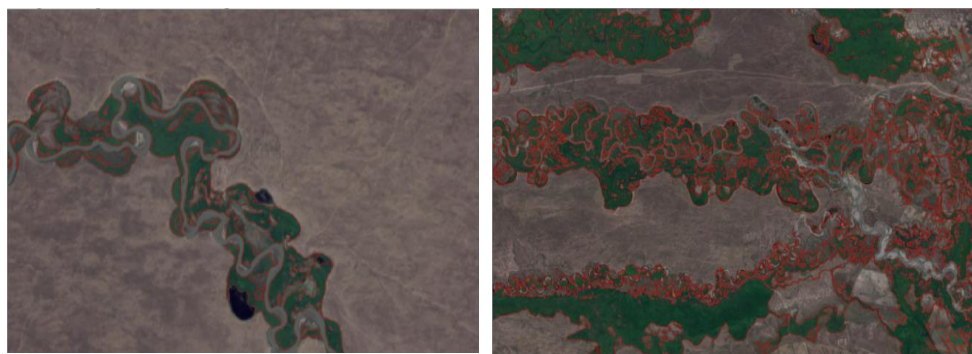
NDVI талдауымен биоалуандық аймақтарын анықтауға болады. Бұған қоса экологиялық қауіп аумақтарын анықтауға мүмкіндік бар. Сонымен қатар оларды да айқындауға болады. NDVI талдауына сәйкес, Сарытоғай қонысында өсімдік жамылғысының қалпына келуінде айтарлықтай оң үрдіс байқалады. Осы жағдай көңіл

куантады. Өсімдік жамылғысы аса тығыз аймақтар 2016 ж. 0,001 км²-ден 2024 ж. 7,74 км²-ге дейін көбейді, әрі тығыз өсімдігі бар аймақтар 39,56 км²-ден 34,52 км²-ге дейін азайды, осы жағдай өсімдік тығыздығының қайта бөлінуін көрсетеді. Орташа әрі сирек өсімдікті аймақтар да 2020 жылдан кейін кеміген еді. Атап айтқанда, бұл олардың тығыз өсімдік кластарына қарай ауысу ықтималдығын паш етеді.

Ашық жерлердің қысқаруы жалпы өсімдік тығыздығының артқанын айғақтайды. Өсімдік жамылғысы жоқ аумақтардың қысқаруы да жалпы өсімдік тығыздығының артқанын айғақтайды. Бұл процесс Шарын ҰТПП-ның және «Алматы облысы орман шаруашылығы» МКК-ның жерді қалпына келтіру және ағаштың төзімді түрлерін отырғызуды қосқандағы қалпына келтіру әрекеттерімен, сондай-ақ табиғи жанарумен ұштасады.

NDVI негізіндегі бағалау арқылы өсімдік жамылғысының қалпына келуіндегі тұрақты үрдістер расталды және биоалуандық аймақтарды шектеуде, сондай-ақ экологиялық тұрғыдан осал аумақтарды анықтауда жоғары тиімділік көрсетті. Өсімдік жамылғысының кеңістіктік құрылымы Шарын өзенінің арнасымен, оның жайылмаларымен және күрделі жер бедері бар террасаларымен өте тығыз байланысты. Sentinel-2 деректері әрі NDVI негізінде жасалған карталар жер бедерінің дифференциациясы биоалуандықтың таралуына елеулі әсер ететінін көрсетті. Негізгі биоалуандық аймақтары жайылмалар мен биік террасаларда шоғырланғандықтан, олар геожүйе тұрақтылығының өзегі болып табылады және басым қорғауды қажет етеді (сурет 5).

Негізінде, NDVI картографиясы жоғары биоалуантүрлілікке ие аумақтарды әрі экологиялық қауіп аймақтарын дәл анықтауға жағдай жасады. Реликті геожүйелер Шарын МҰТП аумағында маңызды рефугиум қызметін атқарады. Әсіресе, *Fraxinus sogdiana* тоғайлары ерекше рөлге ие. Экологиялық күйзеліске бейім аймақтар бар, әсіресе өзен маңы белдеулерінде өсімдік жамылғысының айқын төмендеуі байқалады. Геожүйе тұрақтылығы мен биоалуандықтың тұтастығын сақтау үшін нысаналы мониторинг пен қорғау шаралары да керек (сурет 5).



А

В

Түс	NDVI диапазоны	Өсімдік жамылғысының санаты
	< 0,00	Су, терең көлеңке немесе өсімдіксіз аумақ
	0,00...0,20	Өсімдік жамылғысы жоқ немесе өте сирек
	0,20...0,40	Сирек өсімдік жамылғысы
	0,40...0,60	Орташа тығыз өсімдік жамылғысы
	0,60...1,00	Тығыз және жақсы дамыған өсімдік жамылғысы
	Қызыл контур	Картада анықталған өсімдік жамылғысы аумақтарының шекарасы

Сурет 5. Шарын өзені алабы: А – өзен жайылмалары; В – биік террасалар, Sentinel-2

2016 мен 2024 жылдардың аралығында деректерді талдау Сарытоғай қонысындағы негізгі биоалуандық аймақтарын және экологиялық тұрғыдан осал аумақтарды анықтау үшін мүмкіндік берді. NDVI мәндері өсімдік жамылғысының құрылымын көрсетеді, сондай-ақ оның жер бедері мен климаттық факторларға қатысты тәуелділігін көрсетеді. Жайылмалар мен өзен террасалары тұрақты ландшафт элементтері ретінде ерекшеленеді. Осыған байланысты олардың экологиялық маңыздылығы мен үнемі мониторинг жүргізудің қажеттілігі айқындалады.

Жайылмалар мен террасаларда тығыз өсімдік жамылғысы байқалады, әрі олар *Fraxinus sogdiana* groves және *Populus diversifolia* секілді реликті түрлер үшін тіршілік ету ортасы болып табылады. Өсімдік жамылғысының әркелкілігі жер бедері пішінімен тығыз байланысты: жайылмалар үшін экологиялық тұрақтылығы жоғары болғандықтан, каньон беткейлері эрозия мен климаттық күйзеліске сезімтал.

NDVI талдауы жер бедерімен климат арасындағы байланысты нақтылады. Ол тығыз өсімдік жамылғысымен де байланысты нақтылады. Жайылмалы жерлердегі өсімдіктердің қалың болуы геожүйенің беріктігін білдіреді, бірақ террасалар мен каньон беткейлері экологиялық қатерлі аймақтар болып, басқарудың ерекше әдістерін керек етеді. Жоғары NDVI мәндері бар аумақтарда реликті өсімдік қауымдастықтары шоғырланған; бұл жағдай биоалуандықты сақтау мен геожүйе тұрақтылығын қамтамасыз етудегі олардың маңызды рөлін көрсетеді.

Сарытоғай қонысы ландшафт мозаикасына ие және оның орналасуы қорғалған. Сонымен қатар, Сарытоғай қонысы Оңтүстік-Шығыс Қазақстандағы табиғи рефугиум, себебі оның өсімдік жамылғысы салыстырмалы тұрақты. Жайылмалар, өзен террасалары секілді және қоршалған каньон беткейлеріндегі жоғары тығыздықтағы тұрақты аймақтар минималды қорғау шаралары арқылы да қалпына келу үрдісін көрсетеді. Бұл ерекшеліктер шатқалдың тұрақты рекреациялық жоспарлау стратегияларында негізгі элемент болу мүмкіндігін көрсетеді. Осының арқасында ерекшеліктер табиғатты қорғау жоспарлау стратегияларында да негізгі элемент бола алады.

Халықаралық тәжірибе арқылы табиғи рефугиумдарды қорғалатын немесе реттелетін аумақтарға енгізу биоалуандықты сақтауға, геожүйелік қызметтерді қолдауға және тұрақты дамуды қамтамасыз етуге әкелетінін көрсетеді [15]. Айталық, Yosemite National Park зерттеулері тұрақты өсімдік жамылғысы бар аудандардың биоалуантүрлілікті қалпына келтіруге көмектесетінін, әрі экотуризм мен экологиялық білім беру үшін маңызды орындар ролін атқаратынын дәлелдеді [13]. Дәл осылайша, Жерорта теңізі аймағындағы зерттеулер табиғи рефугийлердің сирек кездесетін түрлер үшін тіршілік ортасын қамтамасыз ететінін көрсетті. Осылайша геожүйені сақтаудың негізін құрайды [14].

Табиғи рефугиум идеясын кеңістіктік жоспарлау мен экологиялық оқытуға қосу табиғат мұрасын сақтауды жақтайтын құндылықтық бағытты жасайды. UNESCO биосфералық қорықтары секілді және IUCN бастамалары тәрізді ұлттық әрі халықаралық тұрақты даму бағдарламалары рефугиумдерді ландшафтты басқару стратегияларының ажырамас бөлігі есебінде мойындауда [23,24]. Бұл әдістер өңірлік жоспарлау құжаттарында да көрініс алады, сол жерде экологиялық қорғау және әлеуметтік-экономикалық дамуды теңестіру маңызды мәселе болып саналады [25].

Сарытоғай шатқалы тек табиғи рефугиум емес-ақ, ғылымға негізделген тұрақты басқару үшін, экотуризм үшін экологиялық білім беру үшін үлгі алаңы, әлеуметтік-мәдени құндылықтарды біріктіретін тұрақты өңірлік даму орталығы болып табылады. Оның сақталуы және басқарылуы биоалуандықты қорғау үшін тұрақты ландшафт пайдалануымен біріктіру үлгісін ұсынады.

Өсімдік динамикасы бойынша ғаламдық зерттеулермен салыстырмалы талдау үшін. 2016...2024 жж. аралығында Sentinel-2 NDVI деректері негізінде жүргізілген Сарытоғай қонысындағы өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық мониторингі әлемдегі басқа жартылай шөлейт және өзен бойы геожүйелеріндегі үрдістермен салыстыруға мүмкіндік

береді. Жерорта теңізі бассейніндегі зерттеулерде реликті өзен бойы ормандарының маусымдық NDVI ауытқуларында ұқсас заңдылықтар байқалды. Осы зерттеулер жайылмалар биік террасалар мен беткейлерге қарағанда өсімдік тығыздығы жағынан және экологиялық тұрақтылық бойынша жоғары екенін дәлелдеді [14]. Сол сияқты, Yosemite National Park тұрақты өсімдік жамылғысы бар аумақтар биоалуандықтың рефугийлары ретінде қызмет етеді. Олар өзгермелі климаттық жағдайларға қарамастан жоғары NDVI мәндерін сақтайды [13].

Сарытоғай қонысының орташа NDVI мәндерінің тұрақтылығы 2022 жылы әлемдік үрдістерге сай болып келеді, өйткені өзен бойындағы жайылмалы геожүйелер климаттық экстремалды жағдайларға төтеп бере алады. NDVI ең төменгі мәнінің күрт төмендеуі (-1,00) жергілікті табиғи құбылыстың орын алғанын көрсетеді, әрі ол Орталық Азияның тоғай ормандары және Иран мен Моңғолиядағы шөлейт зонасының өзен алабы геожүйелерінде тіркелген эпизодтық құрғақшылық яки антропогендік бұзылулармен салыстырылуы мүмкін [7,5]. Осы салыстырмалы мәліметтер бар, сондай-ақ ол NDVI негізіндегі мониторинг экологиялық шектерді анықтау және өсімдік төзімділігін бағалау үшін сенімді құрал екенін көрсетеді.

Осал және тұрақты аймақтарды айқындау. Сарытоғай қонысы үшін NDVI мәндері экологиялық тұрақтылық аймақтарын, сонымен қатар осал аймақтарын нақты көрсетті. Жайылмалар мен өзен террасалары негізгі биоалуандылық аймақтары болып ерекшеленеді. Олар *Fraxinus sogdiana* тоғайлары мен *Populus diversifolia* секілді реликті түрлердің арқасында геожүйелік қызметке айтарлықтай үлес қосады. Бұл нәтижелер әлемдік зерттеулермен үндеседі. Олар өзен бойы дәліздерінің экологиялық тірек ретінде қызмет ететінін көрсетеді [15].

Керісінше, каньон беткейлері жер бедеріне, топырақ эрозиясына және климаттық экстремумдарға байланысты экологиялық тұрғыдан осал аймақтар болып есептеледі. Бұл заңдылық беткей бағыты, экспозиция және топырақ қалыңдығы өсімдік жамылғысы мен биоалуандыққа айтарлықтай әсер етеді. Ол АҚШ-тың оңтүстік-батыс шөлейт зонасының каньондары мен Жерорта теңізі тау аймақтарындағы бақылаулармен ұқсас [4,14] болып табылады. Сол себептен, қоршауды басқару стратегиялары осал беткейлерді мониторингке алуға басымдық беруі керек. Олар қайта орман отырғызуға, эрозияны тежеуге және тіршілік ортасын қалпына келтіру шараларын қолдануға тиіс.

Биоалуандықты сақтау жағынан және тұрақты даму жағынан салдарлары. Зерттеу нәтижелері табиғи рефугиумдардың биоалуандықты сақтауда әрі ландшафт тұрақтылығы үшін шешуші рөл атқаратынын көрсетеді. Сарытоғайдағы реликті тоғай генетикалық әртүрліліктің қоры болып табылады, микроклиматты тұрақтандыра түседі және геожүйелік функцияларды қолдауға мүмкіндік береді, яғни экологиялық тепе-теңдікті сақтау үшін керек. Халықаралық тәжірибе дәлелдеді, табиғи рефугиумдарды өңірлік жоспарлауға енгізу арқылы қоршауды сақтау нәтижелері артады, сондай-ақ экотуризм және экологиялық білім беру арқылы әлеуметтік-экономикалық тиімділік те артады [23,24].

Қазақстанда осы қағидаларды пайдалану Сарытоғай мекені, Соғды ерені тоғайын сақтау, тұрақты туризм мен білім беру жобаларын біріктіретін эталонды орынға түрлендіре алады. Қорғалатын аймақтарды жоспарлау үшін және климаттық және антропогендік қысымдарға бейімделген басқару стратегияларын жүзеге асыру үшін сандық негізді ұсынады. Мониторинг деректері мен салыстырмалы талдаулар негізінде Сарытоғай қонысы үшін төмендегі ұсыныстар қарастырылды:

- тұрақты мониторинг – өсімдік жамылғысының деградация белгілерін ерте анықтауға мүмкіндік береді, бұл уақтылы араласуды қамтамасыз етеді;

- осал аумақтарда мақсатты қорғау – каньон беткейлері мен сирек өсімдікті террасаларда қайта орман отырғызу, топырақты тұрақтандыру және эрозияны тежеу шараларына басымдық берілуі керек;

- биоалуандық «ыстық нүктелерін» қорғау – жайылмалар мен қалың ерен ағаштары бар аумақтар олардың жоғары экологиялық және білім беру маңыздылығына байланысты тұрақты қорғауды қажет етеді;

- өңірлік жоспарлауға интеграциялау –тұрақты туризм және экологиялық білім беру бағдарламаларына енгізіліп, табиғатты қорғаудың әлеуметтік-экономикалық пайдасын арттыруы керек.

Сарытоғай қонысының ландшафттарын зерттеу шөлейт зонасы үшін реликті геожүйелерді ғаламдық деңгейде түсінуге үлес қосады. Солтүстік Америкада, Еуропада және Азиядағы өзен алабы геожүйелерінде өсімдік төзімділігі тіркелген. Осалдық пен экологиялық стресс әсеріне ұқсас заңдылықтар да тіркелген [13...15].

Сонымен қатар, Соғды ерені тоғайы жергілікті және RS деректері бойынша негізделген, тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуды жақтай алатынын көрсетеді. Бұл сабақтар Орталық Азияның басқа да шөлейт аймақтарында қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, олар әлемнің түкпір-түкпіріндегі ландшафтты басқару стратегияларына да қолданылады.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Кеңейтілген талдау нәтижелері ГАЖ негізіндегі мониторинг, сондай-ақ кеңістіктік талдау арқылы өсімдік жамылғысының динамикасын бағалау, биоалуандық пен осал аймақтарды анықтау, және геожүйені басқару үшін тиімді әдіс екенін көрсетеді. Бұл зерттеудің әлеуметтік маңызы анықталған үрдістер арқылы экологиялық қауіп аймақтарының жергілікті қауымдастықтардың өмір сүру сапасына тікелей әсер етуінде тұжырымдалады. Талдау табиғи климаттық өзгергіштікті анықтады. Ол өсімдік динамикасына әсер етті. Сонымен қатар антропогендік қысымдардың бірлескен әсерімен, негізгі үрдістер үшін және мақсатты қорғау үшін экологиялық қауіп аймақтарын анықтады.

Зерттеуге ГАЖ негізіндегі кеңістіктік талдауды біріктіру арқылы өсімдік тығыздығы, кеңістіктік таралу және геожүйелік тұрақтылықты дәл бағалауға қол жеткізілді. Биоалуандық пен жайылмалар ерекше функционалды элементтер болып табылады. Террасалар мен каньон беткейлері де ерекше функционалды ландшафт элементтері ретінде анықталды. Бұл реликті және жоғары биоалуандықты аймақтардың экологиялық тұрақтылыққа қызмет ететінін көрсетті. Сонымен қатар, олар эндемикалық түрлердің генетикалық сақталуына табиғи рефугиумдар ретінде қызмет етеді. Зерттеу нәтижелері тек қана жалаң ғылыми және табиғатты қорғаудың маңыздылығын көрсетіп қана қоймай, сонымен қатар өңірдің әлеуметтік-экономикалық дамуы үшін де негіз болып табылады және қоғам мен табиғат арасындағы байланысты нығайтып, жұрттың экологиялық білімін көтереді.

Зерттеудің негізгі нәтижелері:

1. NDVI мәндерін талдау жоғары өсімдік тығыздығы бар экологиялық маңызды аудандарды анық көрсетті. Жайылмалар және биік террасалар геожүйе тұрақтылығы үшін маңызды болып табылады, *Fraxinus sogdiana* мен *Populus diversifolia* сияқты реликті түрлерге керекті мекен ортасын береді. Берілген нәтижелер ландшафтты басқару стратегияларына геоақпараттық мониторингті енгізудің маңыздылығын көрсетеді де, сондай-ақ оның қажеттігін дәлелдейді.

2. Экологиялық қауіп аймақтары анықталды. Каньонның беткейлері мен өсімдігі аз жерлері эрозияға, климаттың құбылмалылығына және антропогендік факторлардың ықпалына тәуелді деп есептелді. Осы аймақтарды үнемі бақылау керек, сондай-ақ қалпына келтіру әрекеттерін орындау қажет. Икемді басқару арқылы экологиялық тозуды болдырмау керек де.

3. Тұрақты даму маңыздылығы. Зерттеу табиғи рефугиумдардың орнықты ландшафтты пайдалану үшін, экотуризмнің дамуы үшін және экологиялық білім беру үшін негіз болатынын көрсетеді. Геоақпараттық деректерді өңірлік жоспарлауға

кіріктірудің арқасында шешім қабылдаушылар геожүйелік қызметтерді арттырып, биоалуандықты сақтауға әрі жергілікті қауымдастықтарда экологиялық сана-сезімді дамытуға мүмкіндік алады.

4. Әдістемелік маңыздылығы. Sentinel-2 суреттерін, NDVI талдауын және ГАЗ қолдануды біріктіру ұзақ экологиялық мониторинг үшін тұрақты негіз қалыптастырады. Бұл әдістемелік тәсіл Орталық Азияның шөлейт зонасы мен таулы аймақтары үшін ерекше маңызды, өйткені жерде жүргізілетін бақылаулар шектеулі, әрі NDVI ерте деградация белгілерін анықтау мен қалпына келтіру нәтижелерін бағалау үшін тиімді құрал болып табылады.

5. Халықаралық және салыстырмалы маңыздылығы. Нәтижелер табиғи рефугиумдардың биоалуандықты сақтауы, геожүйелік қызметті қолдауы әрі тұрақты туризмді дамытудағы тиімділігін көрсететін әлемдік тәжірибемен сәйкес келеді. Атап айтқанда, Yosemite National Park пен Жерорта теңізі ландшафттарындағы тұрақты өсімдік жамылғысы бар аумақтар қорғау және білім беру бастамалары үшін тірек нүктелер ретінде қызмет етуі мүмкін. Сарытоғай шатқалы Орталық Азиядағы баламалы үлгі болып табылады және ұқсас стратегияларды жергілікті экологиялық және әлеуметтік-экономикалық жағдайларға бейімдеуге болады. Осылайша, жағдайларға бейімдеуге мүмкіндік беріледі.

Қорытындылай келе, бұл зерттеу геоақпараттық мониторингтің тиімді тәсіл екенін көрсетеді. Ол ландшафттардың өсімдік жамылғысының динамикасын бағалау, экологиялық қауіптерді анықтау және тұрақты ландшафтты басқаруды қолдау үшін керек. Сарытоғай елді мекені экологиялық зерттеулер, әлеуметтік-экономикалық жоспарлау және қашықтықтан зондтауды біріктіру жолымен тұрақты рекреациялық даму мен мониторинг пен ғылыми зерттеулердің тоғысқан жеріндегі эталондық аумақ болып табылады. Бұл тұжырымдарды өңірлік даму стратегияларына енгізу арқылы Қазақстан биоалуандықты сақтауды күшейтуге, экологиялық білім беруді дамытуға және ерекше табиғи ландшафттарды тұрақты пайдалануды қамтамасыз етуге мүмкіндік алады.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар EOS Data Analytics дереккөздерден алды. Мәтінді редакциялау барысында жасанды интеллект (Microsoft Copilot) қолданылды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау - БСК; деректерді басқару – БСК, ННК; Ресми талдау - БСК; Әдістеме - ННК; Бағдарламалық қамтамасыз ету - ННК; Қадағалау – БСК, ҚМБ; Визуализация - ЛСБ; Бастапқы жобаны жазу - БСК; Шолу жазу және редакциялау – БСК, ЛСБ.

АЛҒЫ СӨЗ

Авторлар Нұржан Нұрбергенұлы Керімбайға (ННК) осы жұмыстың әдістемесіне, бағдарламалық қамтамасыз етуге, әзірлеуге және бастапқы дайындауға қосқан баға жетпес үлесі үшін шын жүректен алғыс білдіреді. Өкінішке орай, ол мақала аяқталғанға дейін қайтыс болды. Оның ғылыми мұрасы осы зерттеудің ажырамас бөлігі болып қала береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Nepal, S. K. (2003). Tourism and sustainable development in mountain areas. *Annals of Tourism Research*. 30(1), 1–21 [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(02\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(02)00039-0)
2. Price, M., Byers, A., & Sukhdev, P. (2013). Conservation and sustainable use of mountain biodiversity. *Mountain Research and Development*. 33(3), 234–245 <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-13-00028.1>
3. Panizza, M. (2001). Remote sensing for geomorphology and landscape ecology. *Progress in Physical Geography*. 25(3), 381–391 <https://doi.org/10.1177/030913330102500307>
4. Reynard, E. (2009). Geomorphology and ecosystem functioning. *Geomorphology*. 107(1–2), 1–11 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.010>
5. Sari, D., Alimov, A., & Beketayev, N. (2023). Sentinel-2 NDVI monitoring of riparian vegetation in Central Asia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 31, 101992 <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101992>
6. Cui, H., Zhang, J., & Wang, Y. (2022). Spatio-temporal vegetation analysis using Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 14(4), 876 <https://doi.org/10.3390/rs14040876>
7. Fang, J., Chen, A., & Yu, G. (2014). Vegetation index dynamics and climate variability in arid regions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186, 8351–8366 <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3928-2>

8. Bao, W., Li, X., & Liu, Y. (2014) Remote sensing of arid and semi-arid vegetation: Methods and applications. *Journal of Arid Environments*. 103, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.004>
9. Bao, W., Li, X., & Liu, Y. (2015). NDVI time series for monitoring ecosystem changes in Central Asia. *Remote Sensing of Environment*. 162, 123–134 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.001>
10. Atasoy, B., Demir, B., & Kaya, C. (2022). Landscape-ecological approaches for sustainable land use planning. *Ecological Indicators*. 140, 109028 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109028>
11. Korunchikova, E., Petrova, A., & Ivanov, V. (2018). Forest ecosystems and landscape stability: Insights from relict ash groves. *Ecology and Evolution*. 8(14), 7156–7168 <https://doi.org/10.1002/ece3.4167>
12. Ozgeldinova, A., Ismagulova, D., & Bekzhanova, L. (2024). Relict forest ecosystems as indicators of landscape sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment*. 196, 45 <https://doi.org/10.1007/s10661-024-11234-7>
13. Hannah, L., Roehrdanz, P. R., & Marquet, P. (2014). Climate change, refugia, and the conservation of biodiversity. *Nature Climate Change*. 4, 121–128 <https://doi.org/10.1038/nclimate2095>
14. Moreira, F., Viedma, O., & Arianoutsou, M. (2020). Natural refugia and forest resilience in Mediterranean ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 473, 118291 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118291>
15. Watson, J. E. M., Dudley, N., & Segan, D. B. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*. 515, 67–73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>
16. Ogar, G., Babayeva, N., & Isabayeva, D. (1997). Protected areas and natural heritage conservation in Kazakhstan. *Environmental Geography Studies* 3(1), 12–25.
17. План управления на 2015-2019 годы (2015). РГУ «Чарынский государственный национальный природный парк». – Шонжы: Програма Научного отдела ЧГНПП, 2015. – 198 с.
18. Aldibekova, A., Sultanova, B., Aksoy, A., Kurmanbayeva, M., & Nurmukhametov, Z. (2021) Comparative study of root, stem, and leaf anatomy of young Sogdian ash trees (*Fraxinus sogdiana* Bunge) growing in river valleys of the Sharyn State National Park. *International Journal of Biology and Chemistry*. 14(1), 80–89 DOI: <https://doi.org/10.26577/ijbch.2021.v14.i1.08>
19. Kerimbay, B.S., Kerimbay, N.N., Mazbaev, O.B., Dunets, A.N. (2020). Sharyn state national natural park. Evero, Almaty. -116 p.
20. Kerimbay, B.S., Baimyrzaev, K.M., Kerimbay, N.N., & Kaliaskarova, Z.K. (2024). Possibilities of creating tourist and recreational complexes based on the landscape conditions of the mountainous districts of the Almaty region, Kazakhstan. *Geojournal of Tourism and Geosites*. 55(3), 1392–1401 <https://doi.org/10.30892/gtg.55339-1311>
21. Ekebaev, R., Yessimbekov, B., & Iskakova, M. (2020). Relict ash forests as indicators of landscape resilience in Central Asia. *Central Asian Environmental Studies*. 18(2), 87–101.
22. Vintergoller, M. (1984). Flora of Central Asia: Relict species in river valleys. *Botanical Journal of the USSR*. 69(6), 923–934
23. Krause, F., & Haaland, H. (2017). Integrating natural refugia into sustainable landscape management. *Journal of Environmental Planning and Management*. 60(8), 1351–1365 <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1251876>
24. Eagles, P. F. J., McCool, S. F., & Haynes, C. D. (2002). Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management. IUCN. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-008.pdf?utm_source=copilot.com
25. Worboys, G. L., Lockwood, M., & Kothari, A. (2015). Protected area governance and management. ANU Press.

REFERENCES

1. Nepal, S. K. (2003). Tourism and sustainable development in mountain areas. *Annals of Tourism Research*. 30(1), 1–21 [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(02\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(02)00039-0)
2. Price, M., Byers, A., & Sukhdev, P. (2013). Conservation and sustainable use of mountain biodiversity. *Mountain Research and Development*. 33(3), 234–245 <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-13-00028.1>
3. Panizza, M. (2001). Remote sensing for geomorphology and landscape ecology. *Progress in Physical Geography*. 25(3), 381–391 <https://doi.org/10.1177/030913330102500307>
4. Reynard, E. (2009). Geomorphology and ecosystem functioning. *Geomorphology*. 107(1–2), 1–11 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.010>
5. Sari, D., Alimov, A., & Beketayev, N. (2023). Sentinel-2 NDVI monitoring of riparian vegetation in Central Asia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 31, 101992 <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101992>
6. Cui, H., Zhang, J., & Wang, Y. (2022). Spatio-temporal vegetation analysis using Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 14(4), 876 <https://doi.org/10.3390/rs14040876>
7. Fang, J., Chen, A., & Yu, G. (2014). Vegetation index dynamics and climate variability in arid regions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186, 8351–8366 <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3928-2>
8. Bao, W., Li, X., & Liu, Y. (2014) Remote sensing of arid and semi-arid vegetation: Methods and applications. *Journal of Arid Environments*. 103, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.004>
9. Bao, W., Li, X., & Liu, Y. (2015). NDVI time series for monitoring ecosystem changes in Central Asia. *Remote Sensing of Environment*. 162, 123–134 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.001>
10. Atasoy, B., Demir, B., & Kaya, C. (2022). Landscape-ecological approaches for sustainable land use planning. *Ecological Indicators*. 140, 109028 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109028>
11. Korunchikova, E., Petrova, A., & Ivanov, V. (2018). Forest ecosystems and landscape stability: Insights from relict ash groves. *Ecology and Evolution*. 8(14), 7156–7168 <https://doi.org/10.1002/ece3.4167>
12. Ozgeldinova, A., Ismagulova, D., & Bekzhanova, L. (2024). Relict forest ecosystems as indicators of landscape sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment*. 196, 45 <https://doi.org/10.1007/s10661-024-11234-7>
13. Hannah, L., Roehrdanz, P. R., & Marquet, P. (2014). Climate change, refugia, and the conservation of biodiversity. *Nature Climate Change*. 4, 121–128 <https://doi.org/10.1038/nclimate2095>
14. Moreira, F., Viedma, O., & Arianoutsou, M. (2020). Natural refugia and forest resilience in Mediterranean ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 473, 118291 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118291>
15. Watson, J. E. M., Dudley, N., & Segan, D. B. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*. 515, 67–73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>
16. Ogar, G., Babayeva, N., & Isabayeva, D. (1997). Protected areas and natural heritage conservation in Kazakhstan. *Environmental Geography Studies* 3(1), 12–25.
17. План управленија на 2015-2019 гoдy [2015]. РГУ «Чарынский госудaрственный нaциональный природный парк» [Management Plan for 2015-2019 / RGU Charyn State National Nature Park] – Shonzh: The program of the Scientific Department of the CHGNPP, 2015. – 198 p.

18. Aldibekova, A., Sultanova, B., Aksoy, A., Kurmanbayeva, M., & Nurmukhametov, Z. (2021) Comparative study of root, stem, and leaf anatomy of young Sogdian ash trees (*Fraxinus sogdiana* Bunge) growing in river valleys of the Sharyn State National Park. *International Journal of Biology and Chemistry*. 14(1), 80–89 DOI: <https://doi.org/10.26577/ijbch.2021.v14.i1.08>
19. Kerimbay, B.S., Kerimbay, N.N., Mazbaev, O.B., Dunets, A.N. (2020). Sharyn state national natural park. Evero, Almaty. -116 p.
20. Kerimbay, B.S., Baimyrzaev, K.M., Kerimbay, N.N., & Kaliaskarova, Z.K. (2024). Possibilities of creating tourist and recreational complexes based on the landscape conditions of the mountainous districts of the Almaty region, Kazakhstan. *Geojournal of Tourism and Geosites*. 55(3), 1392–1401 <https://doi.org/10.30892/gtg.55339-1311>
21. Ekebaev, R., Yessimbekov, B., & Iskakova, M. (2020). Relict ash forests as indicators of landscape resilience in Central Asia. *Central Asian Environmental Studies*. 18(2), 87–101.
22. Vintergoller, M. (1984). Flora of Central Asia: Relict species in river valleys. *Botanical Journal of the USSR*. 69(6), 923–934
23. Krause, F., & Haaland, H. (2017). Integrating natural refugia into sustainable landscape management. *Journal of Environmental Planning and Management*. 60(8), 1351–1365 <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1251876>.
24. Eagles, P. F. J., McCool, S. F., & Haynes, C. D. (2002). Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management. IUCN. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-008.pdf?utm_source=copilot.com.
25. Worboys, G. L., Lockwood, M., & Kothari, A. (2015). Protected area governance and management. ANU Press.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОСТРАНСТВЕННО - ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТОВ ПОЛУПУСТЫННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Баян С. Керімбай* PhD., Нұржан Н. Керімбай к.г.н. ассоциированный профессор, Куат М. Баймырзаев д.г.н., Лаура С. Байбатырова

«Жетысуский университет имени И.Жансүгірова», г. Талдыкорган, Казахстан; kbszhetysu@gmailcom (БСК), nkerimbay1964@gmailcom (ННК), niibiotchresearch@zuedukz (КМБ), baybatyrova1989@gmailcom (ЛСБ)

*Автор корреспонденции: Баян С. Керімбай, e-mail kbs.zhetysu@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

динамика ландшафтов, урочище Сарытугай, реликтовая Согдийская Ясенева роща, геопространственный анализ, устойчивое управление ландшафтами

АБСТРАКТ

Данное исследование рассматривает пространственно-временную динамику ландшафтов реликтовой рощи Согдийского ясеня (*Fraxinus sogdiana*), расположенного на территории Чарынского государственного национального природного парка в Алматинской области, и оценивает их значение для устойчивого управления и сохранения геосистем. Изменения в период 2016...2024 гг. были изучены на основе растительного покрова с использованием спутниковых данных Sentinel-2 и методов геоинформационного анализа. Методология включала анализ временных рядов NDVI, картографическую визуализацию, корреляцию склонов и экспозиций, выявление пространственных моделей биоразнообразия и экологического риска. Эти подходы позволили определить приоритетные зоны для восстановления и охраны ландшафтов. Результаты показали выраженные колебания растительного покрова, связанные с антропогенными нагрузками (выпас скота, рекреационная деятельность), климатической изменчивостью и сокращением зеленых территорий в речных долинах. Исследование подтверждает важность непрерывного геопространственного мониторинга для выявления ранних признаков экологической деградации и формулирует научно обоснованные рекомендации по сохранению целостности реликтовых лесных геосистем. Эти выводы имеют широкое значение для сохранения биоразнообразия и устойчивого ландшафтного управления в условиях полупустынных территорий.

По статье:

Получено: 08.05.2026

Пересмотрено: 25.05.2026

Принято: 24.08.2026

Опубликовано: 01.10.2026

GEOECOLOGICAL MONITORING OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF SEMI-ARID TERRITORY LANDSCAPES

Bayan S. Kerimbay* PhD, Nurzhan N. Kerimbay Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Kuat M. Baimyrzayev Doctor of Geographical Sciences, Laura S. Baibatyrova

“Zhetysu University named after I.Zhansugurov”, Taldykorgan, Kazakhstan; kbszhetysu@gmail.com (BSK), nkerimbay1964@gmail.com (NNK), niibiotechresearch@zuedukz (KMB), baybatyrova1989@gmail.com (LSB)

*Author correspondent: Bayan C. Kerimbay, kbs.zhetysu@gmail.com

KEY WORDS

Landscape dynamics; Sarytugai tract; Relict Sogdian Ash Grove; Geospatial analysis; Sustainable landscape management

About article:

Received: 08.05.2026

Revised: 25.05.2026

Accepted: 24.08.2026

Published: 01.10.2026

ABSTRACT

This study examines the spatio-temporal dynamics of the landscapes of the relict grove of Sogdian ash (*Fraxinus sogdiana*), located within the Charyn State National Nature Park in Almaty Region, and assesses their significance for sustainable management and geosystem conservation. Changes during the period 2016...2024 were analyzed based on vegetation cover using Sentinel-2 satellite data and geoinformation methods. The methodology included NDVI time-series analysis, cartographic visualization, slope–aspect correlation, and identification of spatial patterns of biodiversity and ecological risk. These approaches made it possible to determine priority areas for landscape restoration and protection.

The results revealed pronounced fluctuations in vegetation cover associated with anthropogenic pressures (livestock grazing, recreational activities), climatic variability, and the reduction of green areas in river valleys. The study confirms the importance of continuous geospatial monitoring for detecting early signs of ecological degradation and formulates scientifically grounded recommendations for preserving the integrity of relict forest geosystems. These findings have broad implications for biodiversity conservation and sustainable landscape management in semi-arid regions.

Баспагердің ескертпесі: барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.