

Н.Б. Зинабдин *, А.Е. Токбаева , А.Ж. Айтқұл 

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*e-mail: zinabdin.n@gmail.com

ДАЛА ЗОНАСЫНДАҒЫ ЕРЕКШЕ ҚОРҒАЛАТЫН ТАБИҒИ АУМАҚТАРДЫҢ БИОАЛУАНТҮРЛІГІН БАҒАЛАУ: CIBI ӘДІСТЕМЕСІ

Қазіргі таңда биоалуантүрлік климаттық өзгерістер мен антропогендік қысымның әсерінен төмендеуде. Осы зерттеудің мақсаты – ерекше қорғалатын табиғи аумақтар (ЕҚТА) биоалуантүрлігін бағалауға арналған кешенді әдістеме әзірлеу. Бірыңғай кеңістіктік-сандық әдістемесі жоқтығына байланысты, зерттеу барысында авторлық Composite Index of Biodiversity Integrity (CIBI) әдістемесі әзірленді. Әдістеме бес параметрді біріктіреді: жалпы түрлік байлық (S), Қызыл кітапқа енген түрлер үлесі (R), түр тығыздығы (D), жоғары вегетациялы аумақтардың үлесі (V) және ЕҚТА жасы (Y). Салмақтық коэффициенттер Saaty аналитикалық иерархия процесі негізінде анықталды. Географиялық ақпараттық жүйелер мен қашықтан зондтау технологияларын қолдана отырып, Sentinel-2 спутниктік суреттері (2023–2025 жж. вегетация маусымы) негізінде 22 ЕҚТА (47 903,5 км²) талданды. Нәтижелер бойынша аумақтар төрт санатқа жіктелді: жоғары биоалуантүрлік (CIBI > 0,40; 1 ЕҚТА – Наурызым МТҚ), орташа деңгей (0,30–0,40; 5 ЕҚТА), төмен деңгей (0,20–0,30; 11 ЕҚТА) және өте төмен деңгей (< 0,20; 5 ЕҚТА). NDVI мен түрлік байлық арасында орташа оң корреляция анықталды ($r = 0,58$; $p < 0,01$). Зерттеудің ғылыми маңызы – Қазақстан дала зонасындағы ЕҚТА биоалуантүрлігін алғаш рет кешенді бағалау, ал практикалық мәні – басымдықты қорғау аймақтарын анықтау мен табиғат қорғау саясатында дәлелді шешімдер қабылдауға мүмкіндік беру.

Түйін сөздер: биоалуантүрлік, ерекше қорғалатын табиғи аумақтар, CIBI индексі, NDVI, ГАЖ, дала экожүйелері, қашықтан зондтау.

N.B. Zinabdin*, A.E. Tokbayeva, A.Zh. Aitkul

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: zinabdin.n@gmail.com

Biodiversity assessment of specially protected natural areas in the steppe zone: CIBI methodology

Currently, biodiversity is declining due to climate change and anthropogenic pressure. The aim of this study is to develop a comprehensive methodology for assessing the biodiversity of specially protected natural areas (SPNAs). Due to the lack of a unified spatial-quantitative methodology, the original Composite Index of Biodiversity Integrity (CIBI) methodology was developed during the study. The methodology combines five parameters: total species richness (S), proportion of Red Book species (R), species density (D), proportion of high-vegetation areas (V), and SPNA age (Y). Weight coefficients were determined based on Saaty's Analytic Hierarchy Process. Using geographic information systems and remote sensing technologies based on Sentinel-2 satellite imagery (2023–2025 vegetation season), 22 SPNAs (47,903.5 km²) were analyzed. According to the results, the territories were classified into four categories: high biodiversity (CIBI > 0.40; 1 SPNA – Naurzum State Nature Reserve), medium level (0.31–0.40; 5 SPNAs), low level (0.20–0.30; 11 SPNAs), and very low level (< 0.20; 5 SPNAs). A moderate positive correlation was found between NDVI and species richness ($r = 0.58$; $p < 0.01$). The scientific significance of the study lies in the first comprehensive assessment of SPNA biodiversity in Kazakhstan's steppe zone, and its practical value is in identifying priority conservation areas and enabling evidence-based decision-making in nature conservation policy.

Keywords: biodiversity, specially protected natural areas, CIBI index, NDVI, GIS, steppe ecosystems, remote sensing.

Н.Б. Зинабдин*, А.Е. Токбаева, А.Ж. Айткул

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

*e-mail: zinabdin.n@gmail.com

Оценка биоразнообразия особо охраняемых природных территорий степной зоны: методика CIBI

В настоящее время биоразнообразии снижается под воздействием климатических изменений и антропогенного давления. Целью данного исследования является разработка комплексной методики оценки биоразнообразия особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В связи с отсутствием единой пространственно-количественной методики, в ходе исследования была разработана авторская методика Composite Index of Biodiversity Integrity (CIBI). Методика объединяет пять параметров: общее видовое богатство (S), доля видов Красной книги (R), плотность видов (D), доля высокоvegetативных территорий (V) и возраст ООПТ (Y). Весовые коэффициенты определены на основе метода аналитической иерархии Saaty. С использованием геоинформационных систем и технологий дистанционного зондирования на основе спутниковых снимков Sentinel-2 (вегетационный сезон 2023–2025 гг.) проанализированы 22 ООПТ (47 903,5 км²). По результатам территории классифицированы на четыре категории: высокое биоразнообразие (CIBI > 0,40; 1 ООПТ – Наурузумский ГПЗ), средний уровень (0,30–0,40; 5 ООПТ), низкий уровень (0,20–0,30; 11 ООПТ) и очень низкий уровень (< 0,20; 5 ООПТ). Выявлена средняя положительная корреляция между NDVI и видовым богатством ($r = 0,58$; $p < 0,01$). Научная значимость исследования заключается в первой комплексной оценке биоразнообразия ООПТ степной зоны Казахстана, а практическая ценность – в определении приоритетных охраняемых территорий и принятии обоснованных решений в природоохранной политике.

Ключевые слова: биоразнообразии, особо охраняемые природные территории, индекс CIBI, NDVI, ГИС, степные экосистемы, дистанционное зондирование.

Кіріспе

Қазіргі таңда биоалуантүрлікті сақтау жандық экологиялық мәселелердің бірі ретінде танылып отыр. Ғылыми зерттеулер көрсеткендей, биологиялық алуан түрліліктің жоғары деңгейі экожүйелердің тұрақтылығын арттырып, климаттық өзгерістер мен антропогендік факторларға қарсы тұру қабілетін күшейтеді (Cardinale et al., 2012). Алайда, антропогендік қысымның, жерді пайдаланудың және климаттың өзгеруінің әсерінен көптеген аймақтарда биоалуантүрлік қарқынды төмендеуде (Newbold et al., 2016). Осыған байланысты биологиялық әртүрлілікті сақтау, экожүйелердің қызметін қолдау және сирек түрлердің жойылуын болдырмау үшін нақты шаралар қажет.

Ерекше қорғалатын табиғи аумақтар (ЕҚТА) – табиғатты қорғау, ғылыми, мәдени, эстетикалық, рекреациялық және сауықтыру маңызы бар табиғи кешендер мен нысандар орналасқан аумақтар (ҚР Заңы, 2006). ЕҚТА қоғам мен табиғат арасындағы қарым-қатынас мәселелерін шешуде маңызды рөл атқарады. Биологиялық және ландшафттық әртүрлілікті сақтау – ЕҚТА-ның басты міндеттерінің бірі (Chape et al., 2005). Табиғи кешендер биомдарының таксономиялық әртүрлілігін зерттеуде биологиялық әртүрліліктің ең көп шоғырланған

орны ретінде ЕҚТА ерекше рөл атқарады (Magurran, 2004). ЕҚТА әлемнің көптеген елдерінде биоалуантүрлікті сақтаудың тиімді құралдарының бірі ретінде қарастырылуда (Buckland et al., 2005; Maxwell et al., 2020).

Қазақстанның дала зонасы – биологиялық әртүрліліктің маңызды орталығы, ерекше экожүйелік құрылымы бар кеңістіктердің бірі. Дала зонасы елдің солтүстік-батысынан шығыс бағытқа қарай созылып, Қазақстан аумағының шамамен 27%-ын алып жатыр. Бұл аумақтарда көптеген сирек және эндемик түрлер мекендейді, алайда соңғы жылдары климаттың өзгеруі мен антропогендік қысымның артуы салдарынан экожүйелердің тұрақтылығы мен табиғи тепе-теңдігіне қауіп төніп отыр (Kamp et al., 2016).

Қазақстанда биоалуантүрлікті сақтау мақсатында республикалық маңызы бар ЕҚТА желісі құрылған. Бүгінде елімізде 10 мемлекеттік табиғи қорық, 14 мемлекеттік ұлттық табиғи парк, 7 мемлекеттік табиғи резерват, 50 мемлекеттік табиғи қорықша және басқа да көптеген қорғалатын аумақтар жұмыс істейді. Дала зонасындағы ЕҚТА жалпы аумағы 47 903,5 км² құрайды.

Биоалуантүрлікті бағалау үшін ғылымда көптеген сандық әдістер қолданылады. Ең кең таралған индекстер – Shannon және Simpson

индекстері, олар түрлік байлық пен түрлер арасындағы біркелкілікті ескереді (Pettorelli et al., 2005). Қашықтан зондтау технологиялары биоалуантүрлік үлгілерін кеңістіктік талдауда жаңа мүмкіндіктер ашты. Нормаланған дифференциалды вегетация индексі (NDVI) – қауымдастық деңгейінде биоалуантүрлік үлгілерін талдауда ең кең қолданылатын қашықтан зондтау метрикасы (Pettorelli et al., 2005). NDVI өсімдіктің фотосинтездік белсенділігін сипаттайды және өсімдік жамылғысының тығыздығымен, биомассасымен және түрлік байлықпен корреляцияланады (Brooks et al., 2006).

Дегенмен, Қазақстанның дала зонасындағы ЕҚТА биоалуантүрлігін кешенді бағалаудың бірыңғай, кеңістіктік-сандық негізделген әдістемесі әлі де жоқ. Бар зерттеулер көбіне жеке-леген аумақтарға бағытталған және салыстырмалы талдауға мүмкіндік бермейді (Simaika, Samways, 2009). Осыған байланысты зерттеу жұмысының мақсаты – дала зонасындағы ЕҚТА биологиялық әртүрлілігін бағалауға

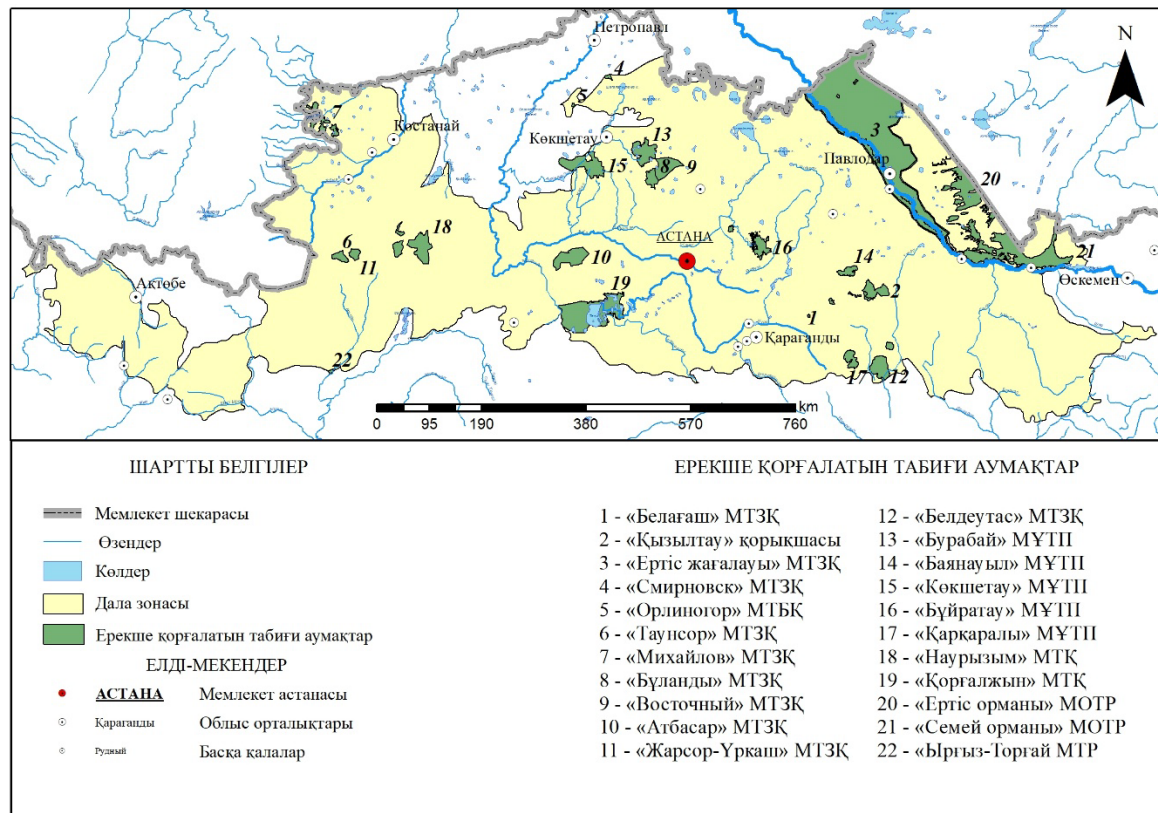
арналған кешенді CIBI (Composite Index of Biodiversity Integrity) әдістемесін әзірлеу және оны ГАЗ мен қашықтан зондтау технологияларын пайдалану арқылы қолдану.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу Қазақстанның дала зонасында орналасқан 22 ЕҚТА-ны қамтыды. Дала зонасы елдің солтүстігінен оңтүстікке қарай біртіндеп шөлейтке ауысатын кең алқапты қамтиды және негізінен Ақмола, Қостанай, Солтүстік Қазақстан, Павлодар және Қарағанды облыстарының бір бөліктерін қамтиды. Зерттеу аумағына 2 мемлекеттік табиғи қорық (Наурызым, Қорғалжын), 5 мемлекеттік ұлттық табиғи парк (Бұрабай, Баянауыл, Көкшетау, Бұйратау, Қарқаралы), 3 мемлекеттік табиғи резерват (Ертіс орманы, Семей орманы, Ырғыз-Торғай) және 12 мемлекеттік табиғи қорықша кірді (1-сурет). ЕҚТА-лардың жалпы ауданы 47 903,5 км² құрады.

1-сурет

Қазақстанның дала зонасындағы ЕҚТА-лардың таралуы



Ескерту: автор құрастырған.

Зерттеуде келесі дерек көздері пайдаланылды: (1) NDVI есептеу үшін Sentinel-2 спутниктік суреттері (2023–2025 ж. вегетация маусымы: маусым-тамыз, кеңістіктік ажыратымдылығы 10 м) Copernicus Open Access Hub платформасынан алынды; (2) ЕҚТА-лардың флора мен фаунасы туралы статистикалық деректер Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігінің ресми есептерінен, қорықтардың жылнамаларынан және Қазақстанның Қызыл кітабынан (2022) жинақталды; (3) ЕҚТА-лардың шекаралары мен ауданы туралы кеңістіктік деректер Protected Planet (WDPA) дерекқорынан алынды.

Биоалуантүрлік – көпөлшемді түсінік, оны бір ғана индекспен толық сипаттау мүмкін емес (Magurran, 2004). Дәстүрлі Shannon және Simpson индекстері тек түрлік құрам мен молшылықты ескереді, ал қорғалатын аумақтарды бағалау үшін кеңістіктік, экологиялық және басқару параметрлерін де қамту қажет (Buckland et al., 2005). Осы мәселені шешу үшін біз көп критерийлі шешім қабылдау (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) тәсіліне (Adem Esmail, Geneletti, 2018) негізделген кешенді индексті әзірледік.

CIBI (Composite Index of Biodiversity Integrity) – салмақталған қосынды үлгісіне (Weighted Sum Model, WSM) негізделген интегралды биоалуантүрлік индексі. WSM әдісі көп критерийлі шешім қабылдауда ең кең қолданылатын тәсілдердің бірі, оның математикалық қарапайымдылығы мен интерпретациялау жеңілдігі артықшылық береді (Saaty, 1980). Индекс құрамына биологиялық, кеңістіктік және уақыттық параметрлерді қамтитын бес көрсеткіш енгізілді:

1) Жалпы түрлік байлық (S) – өсімдіктер мен жануарлардың жиынтық түр саны:

$$S_{total} = S_{flora} + S_{fauna} \quad (1)$$

Мұндағы:

S_{flora} – өсімдік түрлерінің жалпы саны;
 S_{fauna} – жануарлар түрлерінің жалпы саны.

2) Қызыл кітапқа енген түрлер үлесі (R) – зерттеу аумағында тіркелген қорғауға алынған (сирек, жойылу қаупі бар) түрлердің жалпы түрлік байлыққа қатынасы.

$$R_{ratio} = \frac{R_{flora} + R_{fauna}}{S_{flora} + S_{fauna}} = \frac{R_{total}}{S_{total}} \quad (2)$$

Мұндағы:

R_{flora} – Қызыл кітапқа енген өсімдік түрлерінің саны;

R_{fauna} – Қызыл кітапқа енген жануарлар түрлерінің саны;

S_{flora} – жалпы өсімдік түрлерінің саны;

S_{fauna} – жалпы жануарлар түрлерінің саны;

R_{total} – Қызыл кітаптағы барлық түрлер;

S_{total} – жалпы түрлік байлық (өсімдік + жануар).

3) Түр тығыздығы (D) – аумақ бірлігіне (км^2) шаққандағы түрлер саны (түр/ км^2):

$$D = \frac{S_{flora} + S_{fauna}}{A} = \frac{S_{total}}{A} \quad (3)$$

Мұндағы:

S_{flora} – өсімдік түр саны;

S_{fauna} – жануар түр саны;

S_{total} – жалпы түр саны (өсімдік + жануар);

A – ЕҚТА ауданы (км^2);

D – түр тығыздығы

4) Жоғары вегетациялы аумақтардың үлесі (V) – NDVI мәні 0,3-тен жоғары болатын аумақтардың жалпы ауданға қатынасы:

$$V = (A_{NDVI > 0.3} / A_{total}) \times 100\% \quad (4)$$

Мұндағы:

$A_{NDVI > 0.3}$ – NDVI мәні 0,3-тен жоғары аумақтардың қосындысы (орташа және тығыз өсімдік жамылғысы).

A_{total} – ЕҚТА-ның жалпы ауданы.

5) ЕҚТА жасы (Y) – ЕҚТА құрылған уақытынан бастап бүгінгі күнге дейінгі жыл саны:

$$Y = 2025 - Y_{est} \quad (5)$$

Мұндағы:

Y_{est} – ЕҚТА құрылған жыл;

Көп критерийлі индекстерде салмақтарды анықтау – маңызды әрі күрделі мәселе (Morris et al., 2014). Біздің зерттеуде салмақтық коэффициенттер Saaty (Saaty, 1980) аналитикалық иерархия процесі (Analytic Hierarchy Process, АНР) принциптеріне негізделіп, эксперттік бағалау арқылы анықталды. АНР әдісі бойынша көрсеткіштер жұптық салыстыру арқылы бағаланды (1-кесте).

1-кесте*CIBI көрсеткіштерінің салмақтық коэффициенттері*

Көрсеткіш	Салмақ	Негіздеме
S (түрлік байлық)	0,25	Биоалуантүрліктің іргелі көрсеткіші; деректер қолжетімді; ЕҚТА-ның негізгі мақсаты – түрлерді сақтау
R (ҚК үлесі)	0,20	Қорғау құндылығының тікелей индикаторы; сирек түрлердің болуы аумақтың маңызын көрсетеді
D (тығыздық)	0,20	Кеңістіктік тиімділікті көрсетеді; шағын, бірақ түрлерге бай аумақтардың маңызын ескереді
V (вегетация)	0,20	Экожүйе жағдайының объективті көрсеткіші; спутниктік деректерге негізделген; мониторинг үшін қолайлы
Y (жас)	0,15	Қорғау тарихын ескереді; жанама фактор, сондықтан салмағы төменірек

Ескертпе: Салмақтардың қосындысы = 1,0. ҚК – Қызыл кітап.

Түрлік байлыққа (S) ең жоғары салмақ (0,25) берілді, себебі ол – биоалуантүрліктің ең іргелі және әмбебап көрсеткіші. Қызыл кітап түрлері үлесі (R), түр тығыздығы (D) және жоғары вегетациялы аумақтар үлесі (V) бірдей салмақ алды (0,20), себебі олар биоалуантүрліктің әртүрлі, бірақ бірдей маңызды аспектілерін сипаттайды. ЕҚТА жасына (Y) ең төмен салмақ (0,15) берілді, себебі ол тікелей биоалуантүрлік көрсеткіші емес, жанама фактор.

Кеңістіктік талдау ArcGIS 10.8 және QGIS 3.36.0 бағдарламаларында жүргізілді. NDVI Sentinel-2 суреттерінің B4 (қызыл, 665 нм) және B8 (жақын инфрақызыл, 842 нм) каналдары негізінде стандартты формула бойынша есептелді:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (6)$$

NDVI мәндері бес класқа жіктелді: I класс (< 0,1) – өсімдік жамылғысы жоқ немесе өте аз; II класс (0,1–0,2) – сирек өсімдік жамылғысы; III класс (0,2–0,3) – орташа сирек; IV класс (0,3–0,4) – орташа тығыз; V класс (> 0,4) – тығыз өсімдік жамылғысы. Әр ЕҚТА үшін NDVI кластарының аудандары есептеліп, жоғары вегетациялы аумақтардың үлесі (V) анықталды.

Көрсеткіштер әртүрлі өлшем бірліктерінде (түр саны, пайыз, жыл, түр/км²) берілгендіктен, оларды біріктіру үшін нормализация қажет. Біз min-max нормализация тәсілін (Morris et al., 2014) қолдандық:

$$x_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (7)$$

Мұндағы:

x_i – Нормалау керек нақты мән.

x_{min} – көрсеткіштердің ішіндегі ең кіші мән.

x_{max} – көрсеткіштердің ішіндегі ең үлкен мән.

x_{norm} – нормаланған мән (нәтиже).

Бұл тәсіл барлық көрсеткіштерді 0–1 аралығына түрлендіреді, мұндағы 0 – ең төмен мән, 1 – ең жоғары мән. Min-max нормализация қарапайым, түсінікті және кеңінен қолданылады.

CIBI индексі салмақталған қосынды формуласы бойынша есептелді:

$$CIBI = (S_{norm} \times 0,25) + (R_{norm} \times 0,20) + (D_{norm} \times 0,20) + (V_{norm} \times 0,20) + (Y_{norm} \times 0,15) \quad (8)$$

Мұндағы:

CIBI – Кешенді биоалуантүрлік индексі – 0 мен 1 аралығындағы салыстырмалы мән;

S_{norm} – жалпы түрлік байлықтың нормализацияланған мәні;

R_{norm} – сирек түрлер үлесінің нормаланған мәні;

D_{norm} – түр тығыздығының нормаланған мәні;

V_{norm} – NDVI құрылымдық индексінің нормаланған мәні;

Y_{norm} – ЕҚТА жасының нормаланған мәні.

CIBI индексі 0 мен 1 аралығында мән қабылдайды. Нәтижелерді интерпретациялау

үшін төрт санат анықталды: өте төмен (< 0,20), төмен (0,20–0,30), орташа (0,30–0,40) және жоғары (> 0,40) биоалуантүрлік деңгейі (2-кес-

те). Бұл шекаралар деректердің таралуы мен практикалық маңыздылығы негізінде анықталды.

2-кесте

СІВІ индексінің жіктелімі

СІВІ индексінің диапазоны	Санат	Бағалау
> 0,40	Жоғары	Биоалуантүрлік деңгейі жоғары, экожүйе тұрақты
0,30 – 0,40	Орташа	Экожүйе құрылымы жақсы сақталған
0,20 – 0,30	Төмен	Биоалуантүрлік төмендеген, қорғау шаралары қажет
< 0,20	Өте төмен	Экожүйе осал, қалпына келтіру шаралары қажет

Ескертпе: Шекаралар деректердің таралуы мен практикалық маңыздылығы негізінде анықталды.

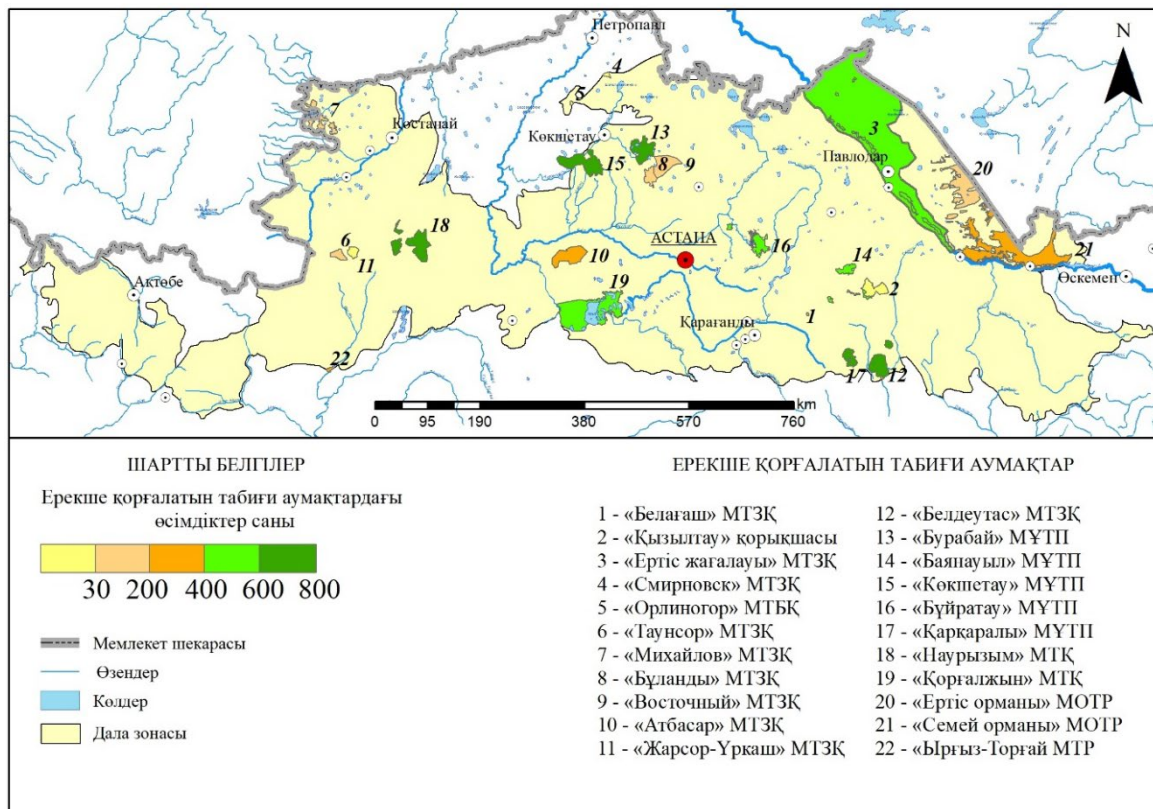
Нәтижелер мен талқылау

Зерттелген 22 ЕҚТА-да өсімдіктердің жалпы түр саны 215-тен (Ертіс орманы) 800 түрге дейін (Көкшетау және Қарқаралы) өзгереді

(2-сурет). Ең жоғары флористикалық әртүрлілік Көкшетау (800 түр), Қарқаралы (800 түр) және Наурызымда (687 түр) тіркелген. Қызыл кітапқа енген сирек өсімдіктер саны 4-тен (Ертіс орманы) 32 түрге дейін (Ырғыз-Торғай) өзгереді.

2-сурет

Дала зонасындағы ЕҚТА-лардағы өсімдік түрлерінің саны



Ескерту: автор құрастырған.

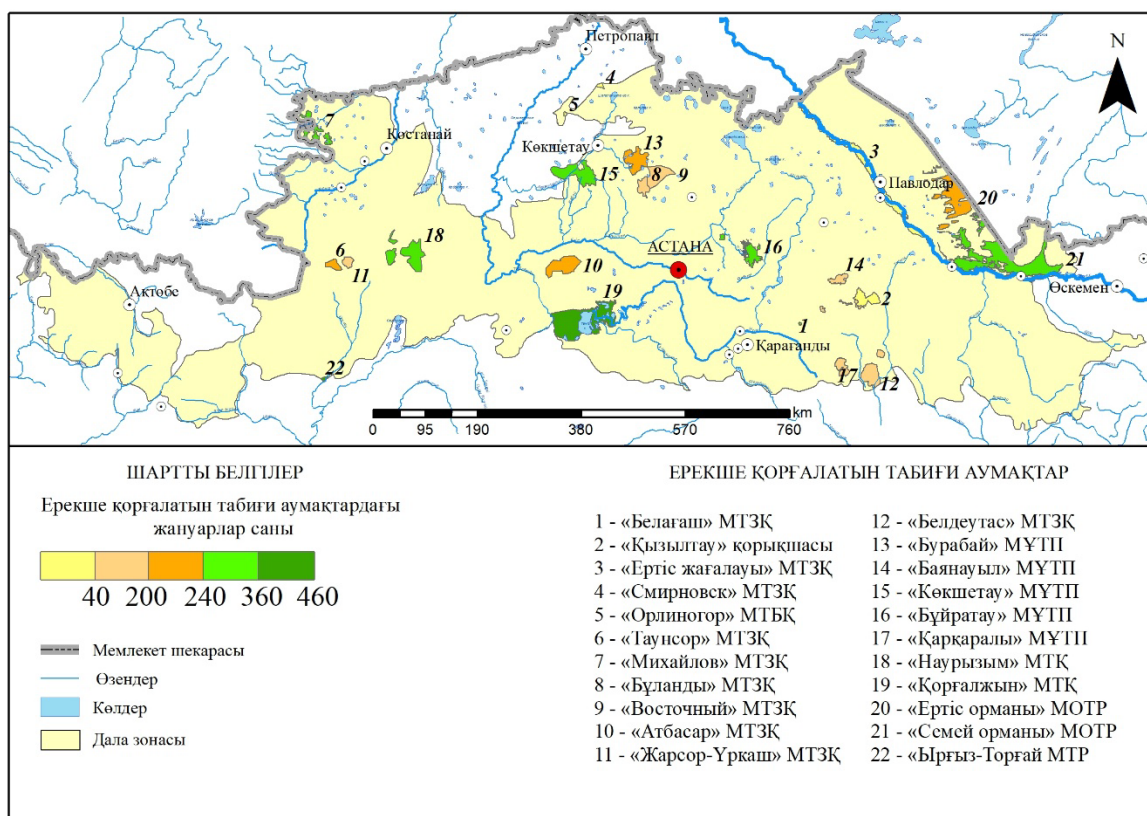
Омыртқалы жануарлардың жалпы түр саны 190-нан (Қарқаралы) 459 түрге дейін (Ырғыз-Торғай) ауытқиды (3-сурет). Барлық зерттелген ЕҚТА-ларда омыртқалы жануарлардың ішінде құстар түр саны бойынша басымдыққа ие: 115 түрден (Баянауыл) 391 түрге дейін (Ырғыз-Торғай). Жалпы түрлік байлық (S_{total}) 458-ден

(Ертіс орманы) 1092 түрге дейін (Көкшетау) өзгереді.

Sentinel-2 спутниктік суреттері негізінде жүргізілген NDVI талдау ЕҚТА-лар арасында өсімдік жамылғысының тығыздығы бойынша айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін көрсетті (4-сурет).

3-сурет

Дала зонасындағы ЕҚТА-лардағы жануар түрлерінің саны



Ескерту: автор құрастырған.

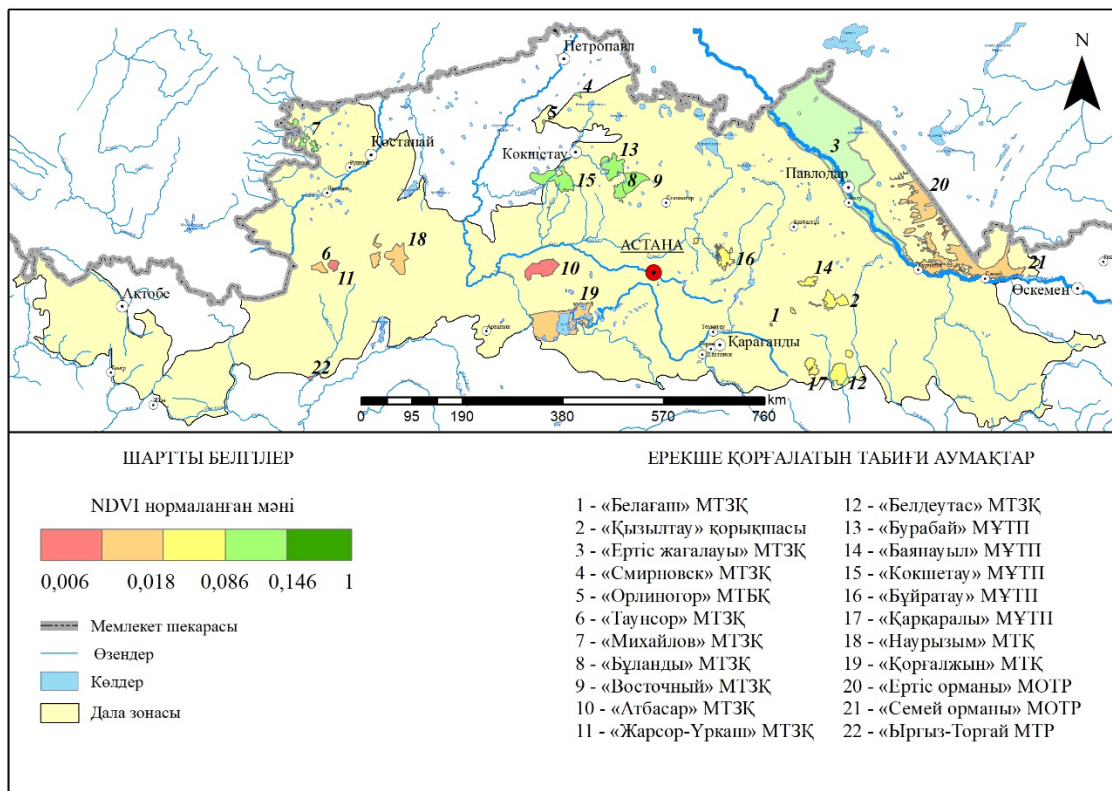
Тығыз өсімдік жамылғысы ($NDVI > 0,4$) бар аумақтардың үлесі 0,006%-дан (Ырғыз-Торғай МТР) 35,9%-ға дейін (Көкшетау МҮТП) өзгереді. Жоғары вегетациялы аумақтардың үлесі ($V, NDVI > 0,3$) негізінен ұлттық парктерде жоғары: Көкшетау – 77,4%, Бурабай – 56,5%, Қарқаралы – 30,2%. Дала қорықтары мен резерваттарында бұл көрсеткіш едәуір

төмен: Наурызым – 1,2%, Қорғалжын – 1,9%, Ырғыз-Торғай – 0,4%.

Әзірленген әдістеме арқылы дала зонасының 22 ЕҚТА-сына экологиялық бағалау жасалды. СІВІ индексі 0,0631-ден (Жарсор-Үрқаш) 0,4058-ге дейін (Наурызым) өзгереді. Нәтижелер бойынша ЕҚТА-лар төрт санатқа жіктелді (3-кесте, 5-сурет).

4-сурет

ЕҚТА-лардағы NDVI мәндерінің үлесі



3-кесте

CIBI индексін анықтауға арналған көрсеткіштер

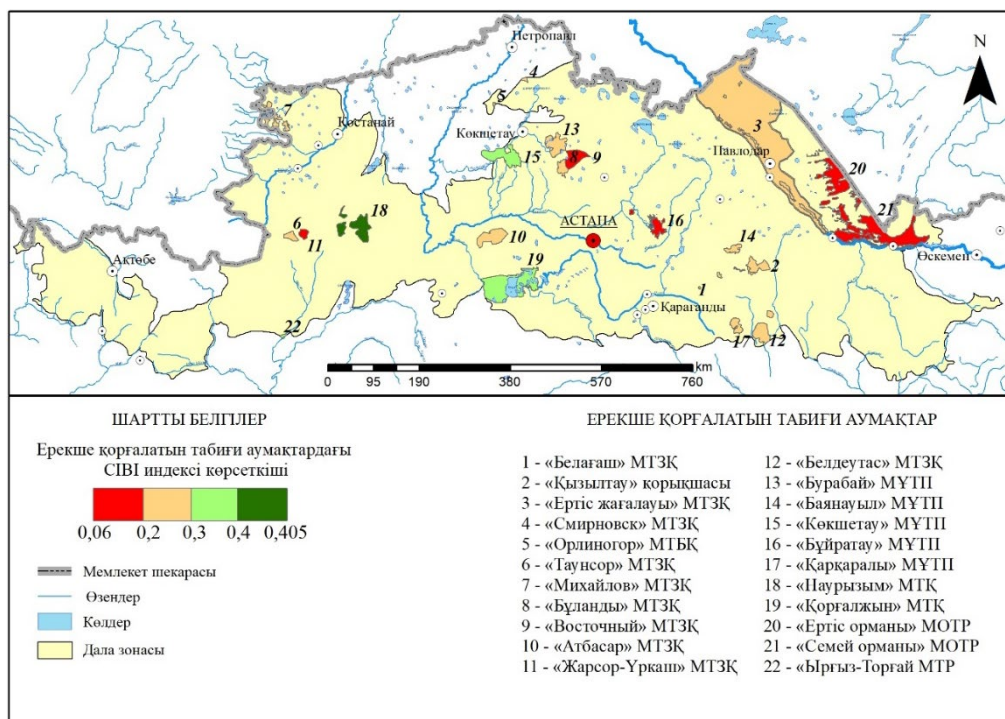
ЕҚТА атауы	S_{norm}	R_{norm}	D_{norm}	V_{norm}	Y_{norm}	CIBI
1	2	3	4	5	6	7
Наурызым мемлекеттік табиғи қорығы	0,953	0,0571	0,0184	0,0122	1	0,4058
Белдеутас мемлекеттік табиғи зоологиялық қорығы	0,476	0,0729	0,1860	1	0,025	0,3745
Белағаш мемлекеттік зоологиялық қорықшасы	0,422	0,2048	1	0,0483	0,0375	0,3618
Қорғалжын мемлекеттік табиғи қорығы	0,918	0,2052	0,0047	0,0187	0,5375	0,3559
Көкшетау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі	1	0	0,0193	0,1393	0,1875	0,3099
Ырғыз-Торғай мемлекеттік табиғи резерваты	0,628	0,2415	0,4634	0,0002	0,05	0,3055
Қарқаралы мемлекеттік ұлттық табиғи паркі	0,901	0,0228	0,0188	0,0555	0,1625	0,2691
Бурабай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі	0,845	0,0225	0,0257	0,1035	0,1375	0,2622
Михайлов мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,422	0,2048	0,0215	0,1247	0,55	0,2582
Смирновск мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,067	0,5406	0,0599	0,1466	0,55	0,2487
Баянауыл мемлекеттік ұлттық табиғи паркі	0,626	0,0903	0,0414	0,0482	0,325	0,2412

ЕҚТА атауы	Snorm	Rnorm	Dnorm	Vnorm	Ynorm	CIBI
1	2	3	4	5	6	7
«Ертіс жағалауы» мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,731	0,085	0,0068	0,0860	0,125	0,2371
Орлиногор мемлекеттік табиғи ботаникалық қорықшасы	0,067	0,5406	0,1674	0,1132	0,3125	0,2279
«Қызылтау» мемлекеттік табиғи қорықшасы	0	1	0	0,0613	0,05	0,2198
Таунсор мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,29	0,2976	0,0375	0,0170	0,4625	0,2123
Бұланды мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,203	0,4171	0,0175	0,1335	0,3125	0,2113
Атбасар мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,461	0,0842	0,0115	0,0069	0,4375	0,2014
«Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты	0,592	0,1035	0,0012	0,0089	0,1	0,1857
Шығыс мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,203	0,3558	0,00618	0,1100	0,15	0,1677
Бұйратау мемлекеттік ұлттық табиғи паркі	0,442	0,0902	0,02084	0,0601	0	0,1447
«Ертіс орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты	0,385	0,1089	0,00329	0,0118	0,1	0,1361
Жарсор-Үрқаш мемлекеттік табиғи зоологиялық қорықшасы	0,153	0,0703	0,02586	0	0,0375	0,0631

Ескерту: автор құрастырған.

5-сурет

Дала зонасындағы ЕҚТА-лардың CIBI индексі бойынша жіктелуі



Ескерту: автор құрастырған.

Жоғары биоалуантүрлік (CIBI > 0,40): Бұл санатқа тек Наурызым қорығы кіреді (CIBI = 0,4058). Қорық жоғары түрлік байлық (1044 түр), Қызыл кітап түрлерінің көптігі (23 түр) және ұзақ қорғау тарихымен (1931 жылдан бастап, 93 жыл) ерекшеленеді.

Орташа биоалуантүрлік (CIBI 0,30–0,40): Бұл санатқа 5 ЕҚТА кіреді – Белдеутас (0,3745), Белағаш (0,3618), Қорғалжын (0,3559), Көкшетау (0,3099) және Ырғыз-Торғай (0,3055). Бұл аумақтарда экожүйе құрылымы жақсы сақталған.

Төмен биоалуантүрлік (CIBI 0,20–0,30): Бұл топқа 11 ЕҚТА жатады. Атап айтқанда Қарқаралы (0,2691), Бурабай (0,2622), Михайлов (0,2582), Смирновск (0,2487), Баянауыл (0,2412), Ертіс жағалауы (0,2371), Орлиногор (0,2279), Қызылтау (0,2198), Таунсор (0,2123), Бұланды (0,2113), Атбасар (0,2014).

Өте төмен биоалуантүрлік (CIBI < 0,20): Бұл топқа 5 ЕҚТА кіреді: Семей орманы (0,1857), Шығыс (0,1677), Бұйратау (0,1447), Ертіс орманы (0,1361), Жарсор-Үркаш (0,0631).

NDVI орташа мәні мен жалпы түрлік байлық арасында орташа оң корреляция анықталды ($r = 0,58$; $p < 0,01$).

Индекс мәні жоғарылаған сайын экожүйелік байлық, өсімдік құрылымы мен сирек түрлер шоғырлануы артады. Сондықтан CIBI экожүйелерді басымдықпен қорғау немесе қалпына келтіру іс-шараларын жоспарлауға ғылыми негіз ұсынады.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері Қазақстанның дала зонасындағы ЕҚТА-лар арасында биоалуантүрлік деңгейі бойынша айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін көрсетті. CIBI индексі 0,0631-ден 0,4058-ге дейін өзгеріп, ЕҚТА-лардың экологиялық жағдайының біркелкі еместігін дәлелдейді.

Наурызым қорығының CIBI көрсеткіші ең жоғары болуы (0,4058) бірнеше факторлармен түсіндіріледі. Біріншіден, қорық 1931 жылы құрылып, 93 жылдық қорғау тарихына ие – бұл зерттелген ЕҚТА-лар арасындағы ең ұзақ мерзім. Халықаралық зерттеулер қорғалатын аумақтардың жасы мен биоалуантүрлік деңгейі арасында оң байланыс бар екенін растайды: ұзақ уақыт қорғалған аумақтарда экожүйелер қалпына келу мен тұрақтану мүмкіндігіне ие

болады (Tikkanen et al., 2009, Geldmann et al., 2019). Екіншіден, Наурызым қорығы 2008 жылы ЮНЕСКО Дүниежүзілік мұра тізіміне енген, бұл оның халықаралық деңгейде танылған экологиялық құндылығын көрсетеді. Үшіншіден, қорық аумағында антропогендік қысым төмен, бұл табиғи экожүйелердің сақталуына қолайлы жағдай жасайды.

Орташа биоалуантүрлік санатына кірген ЕҚТА-лар (Белдеутас, Белағаш, Қорғалжын, Көкшетау, Ырғыз-Торғай) әртүрлі себептермен жоғары көрсеткіштерге ие. Қорғалжын қорығы (0,3559) жоғары түрлік байлықпен (1008 түр) және ЮНЕСКО мәртебесімен ерекшеленеді. Көкшетау МҮТП (0,3099) ең жоғары флористикалық әртүрлілікке ие (800 түр) және жоғары вегетациялы аумақтардың үлесі бойынша көшбасшы (77,4%). Ырғыз-Торғай (0,3055) Қызыл кітапқа енген түрлер саны бойынша барлық ЕҚТА-лар арасында көшбасшы (47 түр), ол арқылы аумақтың жоғары қорғау құндылығын көре аламыз (Watson et al., 2014). Белдеутас және Белағаш қорықшалары шағын аудандарына қарамастан жоғары түр тығыздығымен ерекшеленеді, бұл CIBI әдістемесінің шағын, бірақ экологиялық құнды аумақтарды анықтау қабілетін көрсетеді.

Өте төмен биоалуантүрлік санатындағы ЕҚТА-лар (Ертіс орманы, Жарсор-Үркаш, Бұйратау) төмен көрсеткіштерінің себептері әртүрлі. Бұл ЕҚТА-лардың көпшілігі шаруашылыққа қолайсыз жерлерде орналасқан, бұл әлемдік тенденцияға сәйкес келеді (Jorppa & Pfaff, 2009). Ертіс орманы резерватында (0,1361) түрлік байлық салыстырмалы түрде төмен (458 түр), бұл монодоминантты қарағай ормандарының ерекшелігімен түсіндіріледі. Жарсор-Үркаш қорықшасы ең төмен CIBI көрсеткішіне ие (0,0631), бұл жас қорықша болуымен (2010 жылы құрылған) және аумағының шағын болуына байланысты.

NDVI мен түрлік байлық арасындағы орташа оң корреляция ($r = 0,58$) биоалуантүрлікті кеңістіктік бағалауда қашықтан зондтау деректерін қолданудың перспективтілігін көрсетеді (Xu et al., 2022). Алайда, бұл байланыс барлық ЕҚТА үшін бірдей емес. Орман резерваттарында (Ертіс орманы, Семей орманы) NDVI мәндері жоғары болғанымен, түрлік байлық салыстырмалы түрде төмен. Бұл құбылыс монодоминантты ормандардың ерекшелігімен түсіндіріледі – жоғары биомасса

өндіру түрлік әртүрлілікпен әрқашан сәйкес келмейді (Pettoirelli et al., 2005). Керісінше, дала экожүйелерінде (Наурызым, Қорғалжын) NDVI төмен болғанымен, түрлік байлық жоғары, бұл шөпті өсімдіктердің төмен биомассасына қарамастан жоғары әртүрлілікке ие екенін көрсетеді.

SIBI әдістемесінің дәстүрлі биоалуантүрлік индекстерімен (Shannon, Simpson) салыстырғандағы негізгі артықшылығы – оның көпөлшемділігі. Дәстүрлі индекстер тек түрлік құрам мен молшылықты ескереді (Magurran, 2004), ал SIBI биологиялық (түрлік байлық, сирек түрлер үлесі), кеңістіктік (түр тығыздығы, вегетация жағдайы) және уақыттық (қорғау тарихы) параметрлерді біріктіреді. Бұл тәсіл ЕҚТА-ны жан-жақты бағалауға және басымдықты қорғау аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің бірқатар шектеулері бар. Біріншіден, салмақтық коэффициенттер эксперттік бағалауға негізделген және субъективті сипатта. Болашақта Delphi әдісі немесе кеңейтілген АНР сауалнамасы арқылы салмақтарды валидациялау және ЕҚТА-лар арасындағы экологиялық байланыстылықты (connectivity) ескеретін көрсеткіштермен (Saura et al., 2017) толықтыру ұсынылады. Екіншіден, флора мен фауна туралы деректер ЕҚТА-лар бойынша біркелкі емес және түрлі жылдарға жатады. Үшіншіден, NDVI маусымдық өзгерістерге сезімтал, сондықтан бір мезгілдік суреттер қолданылды (шілде-тамыз). Болашақта көпжылдық NDVI динамикасын талдау нәтижелердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу барысында Қазақстанның дала зонасындағы ЕҚТА биоалуантүрлігін бағалауға арналған SIBI (Composite Index of Biodiversity Integrity) әдістемесі әзірленіп, 22 ЕҚТА-ға қолданылды. Әдістеме бес көрсеткішті біріктіреді: жалпы түрлік байлық (S), Қызыл кітапқа енген түрлер үлесі (R), түр тығыздығы (D), жоғары вегетациялы аумақтардың үлесі (V) және ЕҚТА жасы (Y).

Зерттеудің негізгі нәтижелері:

SIBI индексі бойынша ЕҚТА-лар төрт санатқа жіктелді: жоғары биоалуантүрлік (1 ЕҚТА), орташа (5 ЕҚТА), төмен (11 ЕҚТА) және өте төмен (5 ЕҚТА).

Наурызым МТҚ ең жоғары SIBI көрсеткішіне ие (0,4058), бұл оның ұзақ қорғау тарихымен, жоғары түрлік байлығымен және ЮНЕСКО мәртебесімен түсіндіріледі.

NDVI мен түрлік байлық арасында орташа оң корреляция анықталды ($r = 0,58$; $p < 0,01$), сол арқылы қашықтан зондау деректерін биоалуантүрлікті бағалауда қолдану перспективасын растайды.

SIBI әдістемесі дәстүрлі индекстерден (Shannon, Simpson) айырмашылығы биологиялық, кеңістіктік және уақыттық параметрлерді біріктіреді, бұл ЕҚТА-ларды жан-жақты бағалауға мүмкіндік береді.

SIBI әдістемесінің практикалық маңызы: (1) ЕҚТА-ларды объективті салыстыруға мүмкіндік береді; (2) басымдықты қорғау аймақтарын анықтауға көмектеседі; (3) табиғат қорғау саясатында дәлелді шешімдер қабылдауға негіз болады (Jetz et al., 2022). Өте төмен SIBI көрсеткіші бар ЕҚТА-ларда (Жарсор-Үркаш, Ертіс орманы, Бүйратау) экожүйелерді қалпына келтіру шараларын күшейту ұсынылады.

Мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесі:

Концептуализация – Н.Б. Зинабдин және А.Ж. Айтқұл; Әдіснама – Н.Б. Зинабдин; Бағдарламалық қамтамасыз ету – А.Е. Токбаева; Валидация – А.Ж. Айтқұл және А.Е. Токбаева; Формалдық талдау – А.Ж. Айтқұл; Зерттеу – Н.Б. Зинабдин және А.Ж. Айтқұл; Ресурстар – А.Е. Токбаева; Деректерді басқару – Н.Б. Зинабдин; Жазу – бастапқы нұсқаны дайындау – А.Ж. Айтқұл; Жазу – рецензиялау және өңдеу – Н.Б. Зинабдин; Визуализация – А.Е. Токбаева; Ғылыми жетекшілік – Н.Б. Зинабдин; Жоба әкімшілігі – Н.Б. Зинабдин; Қаржыландыруды тарту – Н.Б. Зинабдин.

Әдебиеттер

- Adem Esmail, B., & Geneletti, D. (2018). Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 42–53.
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Da Fonseca, G. A. B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., ... Rodrigues, A. S. L. (2006). Global biodiversity conservation priorities. *Science*, 313(5783), 58–61.
- Buckland, S. T., Magurran, A. E., Green, R. E., & Fewster, R. M. (2005). Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 243–254.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59–67.
- Chape, S., Harrison, J., Spalding, M., & Lysenko, I. (2005). Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 443–455.
- Geldmann, J., Manica, A., Burgess, N. D., Coad, L., & Balmford, A. (2019). A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(46), 23209–23215.
- Jetz, W., McGowan, J., Rinnan, D. S., Possingham, H. P., Visconti, P., O'Donnell, B., & Londoño-Murcia, M. C. (2022). Include biodiversity representation indicators in area-based conservation targets. *Nature Ecology & Evolution*, 6(2), 123–126.
- Joppa, L. N., & Pfaff, A. (2009). High and far: Biases in the location of protected areas. *PLOS ONE*, 4(12), e8273.
- Kamp, J., Koshkin, M. A., Bragina, T. M., Katzner, T. E., Milner-Gulland, E. J., Schreiber, D., ... Urazaliev, R. (2016). Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts. *Biodiversity and Conservation*, 25(12), 2521–2541.
- Magurran, A. E. (2003). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
- Maxwell, S. L., Cazalis, V., Dudley, N., Hoffmann, M., Rodrigues, A. S. L., Stolton, S., ... Watson, J. E. M. (2020). Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature*, 586(7828), 217–227.
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., ... Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: Insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, 4(18), 3514–3524.
- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45–50.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503–510.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators*, 76, 144–158.
- Simaika, J. P., & Samways, M. J. (2009). An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity and Conservation*, 18(5), 1171–1185.
- Tikkanen, O.-P., Punttila, P., & Heikkilä, R. (2009). Species-area relationships of red-listed species in old boreal forests: A large-scale data analysis. *Diversity and Distributions*, 15(5), 852–862.
- Watson, J. E. M., Dudley, N., Segan, D. B., & Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515(7525), 67–73.
- Xu, H., Wang, Y., Guan, H., Shi, T., & Hu, X. (2019). Detecting ecological changes with a remote sensing-based ecological index (RSEI) produced time series and change vector analysis. *Remote Sensing*, 11(20), 2345.
- Qazaqstan Respublikasy. (2006, Shilde 7). *Erekşe qorghalatyń tabiǵı aumaqtar turaly* [On specially protected natural areas] (No. 175-III). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z060000175>

References

- Adem Esmail, B., & Geneletti, D. (2018). Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 42–53.
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Da Fonseca, G. A., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., ... & Rodrigues, A. S. (2006). Global biodiversity conservation priorities. *science*, 313(5783), 58–61.
- Buckland, S. T., Magurran, A. E., Green, R. E., & Fewster, R. M. (2005). Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 243–254.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59–67.
- Chape, S., Harrison, J., Spalding, M., & Lysenko, I. (2005). Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 443–455.
- Geldmann, J., Manica, A., Burgess, N. D., Coad, L., & Balmford, A. (2019). A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(46), 23209–23215.
- Jetz, W., McGowan, J., Rinnan, D. S., Possingham, H. P., Visconti, P., O'Donnell, B., & Londoño-Murcia, M. C. (2022). Include biodiversity representation indicators in area-based conservation targets. *Nature Ecology & Evolution*, 6(2), 123–126.
- Joppa, L. N., & Pfaff, A. (2009). High and far: biases in the location of protected areas. *PloS one*, 4(12), e8273.

- Kamp, J., Koshkin, M. A., Bragina, T. M., Katzner, T. E., Milner-Gulland, E. J., Schreiber, D., ... & Urazaliev, R. (2016). Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts. *Biodiversity and conservation*, 25(12), 2521-2541.
- Magurran, A. E. (2003). *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons.
- Maxwell, S. L., Cazalis, V., Dudley, N., Hoffmann, M., Rodrigues, A. S., Stolton, S., ... & Watson, J. E. (2020). Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature*, 586(7828), 217-227.
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., ... & Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and evolution*, 4(18), 3514-3524.
- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... & Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*.
- Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they?. *Ecological indicators*, 76, 144-158.
- Simaika, J. P., & Samways, M. J. (2009). An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity and Conservation*, 18(5), 1171-1185.
- Tikkanen, O. P., Punttila, P., & Heikkilä, R. (2009). Species-area relationships of red-listed species in old boreal forests: a large-scale data analysis. *Diversity and Distributions*, 15(5), 852-862.
- Watson, J. E., Dudley, N., Segan, D. B., & Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515(7525), 67-73.
- Xu, H., Wang, Y., Guan, H., Shi, T., & Hu, X. (2019). Detecting ecological changes with a remote sensing based ecological index (RSEI) produced time series and change vector analysis. *Remote Sensing*, 11(20), 2345.
- Қазақстан Республикасы. (2006, 7 шілде). Ерекше қорғалатын табиғи аумақтар туралы (№ 175-III). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z060000175>

Авторлар туралы мәлімет:

- Зинабдин Нұрлыбек Бердібекұлы – PhD, аға оқытушы, Физикалық және экономикалық география кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана, Қазақстан, e-mail: zinabdin.n@gmail.com).
- Токбаева Алия Ерлановна – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана, Қазақстан, e-mail: aliqozeet@gmail.com).
- Айтқұл Ақжол Жаңабайұлы – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана, Қазақстан, e-mail: aakzholzh2001@gmail.com).

Information about authors:

- Nurlybek Zinabdin – PhD, Senior Lecturer, Department of Physical and Economic Geography, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: zinabdin.n@gmail.com).
- Aliya Tokbaeva – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: aliqozeet@gmail.com).
- Akzhol Aitkul – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: aakzholzh2001@gmail.com).

Сведения об авторах:

- Зинабдин Нурлыбек Бердібекулы – PhD, старший преподаватель кафедры физической и экономической географии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: zinabdin.n@gmail.com).
- Токбаева Алия Ерлановна – магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: aliqozeet@gmail.com).
- Айтқұл Ақжол Жаңабайұлы – магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан, e-mail: aakzholzh2001@gmail.com).

Келіп түсті: 23 желтоқсан 2025 жыл
Қабылданды: 14 ақпан 2025 жыл