

Б.С. Керімбай¹ , К.М. Баймырзаев¹ , Н.Н. Керімбай^{1*} ,
М.Б. Бахыт² , С.Қ. Таженова³ 

¹І. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан

³Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

*e-mail: n.kerimbay@mail.ru

АГРОЛАНДШАФТТАРДЫҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН ГЕОЖҮЙЕЛІК ТҰРҒЫДАН ТАЛДАУ

Климаттың жаһандық өзгерістері мен гидрометеорологиялық жағдайлардың тұрақсыздығы аймақтардың ауыл шаруашылығының дамуы мен өнімділігіне тікелей әсер етуде. Осыған байланысты агроландшафттардың физикалық-географиялық жағдайын геожүйелік тұрғыдан бағалау, сондай-ақ олардың өсімдік жамылғысы мен топырақ ылғалдылығының кеңістіктік және маусымдық өзгерістерін қашықтықтан зондтау деректері негізінде зерделеу – бүгінгі күннің өзекті ғылыми міндеттерінің бірі болып табылады. Мониторинг нысаны ретінде Алматы облысы, Ұйғыр ауданы аумағындағы Шарын өзенінің атыраулық жазығында орналасқан егіншілік алқаптарының телімдері алынды. Ғылыми жұмыстың мақсаты – Sentinel-2 спутниктік деректері мен EOSDA платформасының аналитикалық модульдерін пайдалана отырып, NDVI және NDWI индекстері негізінде егіншілік алқаптарының вегетация кезеңіндегі кеңістіктік-уақыттық динамикасын бақылау және геожүйелік талдау жүргізу. Дереккөз ретінде Sentinel-2 спутниктік кескіндері, ЖЦБК (жылдық циклдің вегетациялық кезеңі) көрсеткіштері бойынша климаттық параметрлер пайдаланылды. Зерттеу нәтижелері өсімдік жамылғысының тығыздығы мен топырақ ылғалдылығының маусымдық өзгерістерін бағалауға, сондай-ақ агроландшафттық жүйелердің экологиялық жағдайын кешенді түрде түсінуге мүмкіндік береді. Жер ресурстарын басқару, ауыл шаруашылығын жоспарлау және геоақпараттық мониторинг жүйелерін жетілдіру тұрғысынан ғылыми әрі қолданбалы маңызға ие.

Түйін сөздер: агроландшафт, егіншілік алқабы, геожүйелік талдау, қашықтықтан зондтау, NDVI, NDWI, топырақ ылғалдылығы.

B.S. Kerimbay¹, K.M. Baimyrzaev¹, N.N. Kerimbay^{1*},
M.B. Bakhyt², S.K. Tazhenova³

¹I. Zhansugurov Zhetysu University, Taldykorgan, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan /

³Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

*e-mail: n.kerimbay@mail.ru

Geosystem Analysis of the Spatiotemporal Changes in Agrolandscapes

Global climate change and the instability of hydrometeorological conditions directly affect the sustainability and productivity of agricultural systems. In this context, geosystem analysis of the physical and geographical characteristics of agro-landscapes, as well as the assessment of spatial and temporal dynamics of vegetation and soil moisture based on remote sensing data, has become particularly relevant. The agricultural lands of the Sharyn River delta plain, located in the Uygur district of the Almaty region, were chosen as a monitoring site. The aim of this scientific work is to monitor the spatial and temporal dynamics of agricultural land during the growing season and to conduct geosystem analysis using Sentinel-2 satellite data and the EOSDA platform's analytical modules based on the NDVI and NDWI. The obtained results made it possible to assess seasonal changes in vegetation density and soil moisture regimes, providing a comprehensive understanding of the ecological condition of agro-landscape systems. The proposed approach has both scientific and practical significance for land resource management, agricultural planning, and the development of geoinformation monitoring technologies.

Keywords: agro-landscape, cropland, geosystem analysis, remote sensing, NDVI, NDWI, soil moisture.

Б.С. Керімбай¹, К.М. Баймырзаев¹, Н.Н. Керімбай^{1*},
М.Б. Бахыт², С.Қ. Таженова³

¹Жетысуский университет имени И. Жансугурова, Талдықорған, Қазақстан

²ҚазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Қазақстан

³Кызылординский университет имени Корқыт Ата, Кызылорда, Қазақстан

*e-mail: n.kerimbay@mail.ru

Геосистемный анализ пространственно-временных изменений агроландшафтов

Глобальные климатические изменения и нестабильность гидрометеорологических условий оказывают прямое влияние на устойчивое развитие и продуктивность регионального сельского хозяйства. В связи с этим особую актуальность приобретает геосистемный анализ физико-географических характеристик агроландшафтов, а также исследование пространственно-временной динамики растительности и влажности почвы на основе данных дистанционного зондирования. В качестве мониторингового объекта рассмотрены участки сельскохозяйственных угодий дельтовой равнины реки Шарын, расположенные в Уйгурском районе Алматинской области. Целью научной работы является мониторинг пространственно-временной динамики сельскохозяйственных угодий за вегетационный период и проведение геосистемного анализа на основе индексов NDVI и NDWI с использованием спутниковых данных Sentinel-2 и аналитических модулей платформы EOSDA. Полученные результаты позволили оценить сезонные изменения плотности растительного покрова и режима почвенной влажности, а также обеспечить комплексное понимание экологического состояния агроландшафтных систем. Представленные подходы обладают научной и прикладной значимостью в контексте управления земельными ресурсами, планирования сельского хозяйства и совершенствования геоинформационного мониторинга.

Ключевые слова: агроландшафт, сельскохозяйственные угодья, геосистемный анализ, дистанционное зондирование, NDVI, NDWI, влажность почвы.

Кіріспе

Қазақстан аумағындағы агроландшафттық кешендердің жай-күйін бағалау мен мониторинг жүргізу қазіргі таңда ауыл шаруашылығын цифрландыру мен экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Себебі, ауыл шаруашылығы үшін ең үлкен қауіп – температураның жоғарылауы, жауын-шашынның таралу режимінің өзгеруі, теңіз деңгейінің көтерілуі (жағалаудағы ойпаттар үшін) және жиі құрғақшылық пен су тасқыны сияқты климаттың өзгеруінің көріністері, әсіресе апаттарға бейім аймақтарда (Tokbergenova A.A., Zulpykharov K.B., Mirzabaev A., Kaliyeva D.M., Taukebayev O.Zh., Yesenbayev S.M., 2024: 18–33).

Әсіресе, климаттың ғаламдық өзгерістері мен гидрометеорологиялық жағдайлардың тұрақсыздығы жағдайында, агроландшафттардың микроклиматтық ерекшеліктеріне сәйкес, топырағы мен өсімдік жамылғысының жай-күйін зерделеу ерекше өзектілікке ие (Cui Y., Zhao M., Zhang Q., 2022:512; Аралова М.Қ., 2016: 44–50; Лайсханов Ш.У., 2014:49–54).

Климаттық өзгерістердің агроландшафт жүйелеріне әсерін бағалауда геожүйелік тәсілді қамтитын қашықтықтан зондтау мен геоакпа-

раттық талдау біріктірілген, қолданбалы талдау әдістері ұсынылған, соның ішінде жоғары дәлдіктегі спутниктік әдістері қарастырылған ғылыми еңбектерге шолу жасалды (Kazemi Garajeh, M., Salmani, B., Zare Naghadehi, S., Valipoori Goodarzi, H., & Khasraei, A., 2023:1057; Lottering, R., Peerbhay, K., & Adelabu, S., 2025: 4537).

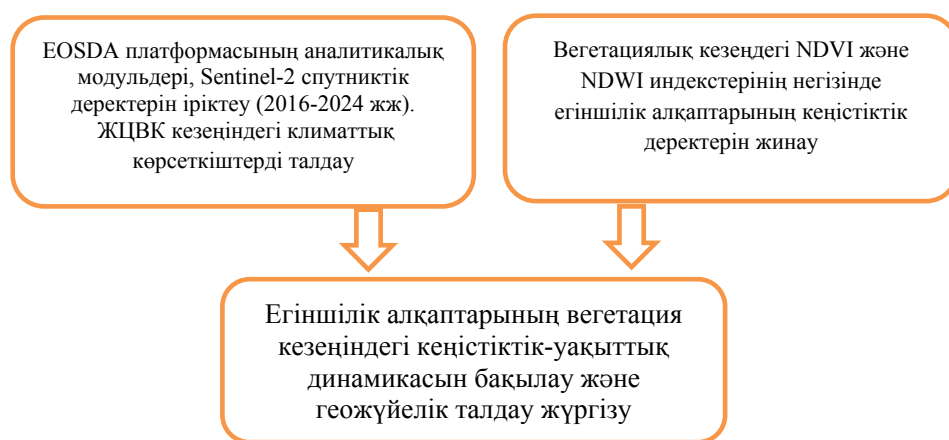
Осы тұрғыда, Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) технологиялары мен геоакпараттық жүйелер (ГАЗ) арқылы алынған деректер агроландшафттардың құрылымы мен функционалдық жағдайын бағалауда тиімді құрал ретінде танылып келеді (Керімбай Н.Н., Керімбай Б.С., 2023:310). Бұл тәсілдер топырақтың ылғалдылығын, өсімдік жамылғысының вегетация кезеңіндегі динамикасын және микроклиматтық ерекшеліктерді нақты бағалауға мүмкіндік береді. Әсіресе, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) және NDWI (Normalized Difference Water Index) секілді индекстер кеңістіктік-уақыттық трендтерді айқындауда кеңінен қолданылады (Gao B.C., 1996:257–266; Sari D., Kusuma H.E., Prasetyo L.B., 2023:91-100; Керімбай Б.С., Баймырзаев К.М., Керімбай Н.Н., 2024: 27–43).

Ауылшаруашылық өндірісінің өнімділігін арттыру мен табиғи ландшафтардың ағымдағы жай-күйін бақылау және болжау мақсатында NDVI көрсеткіші өсімдік жамылғысының кү-

йін сандық түрде сипаттауға мүмкіндік береді. NDVI индексін қолдану тұжырымдамасы алғаш рет 1969 жылы америкалық ғалым Ф. Криглер және 1973 жылы Дж. Роуз тарапынан ұсынылған. Вегетациялық индекстерді қолданудың жаңа мүмкіндіктері А. Черепанов, Е. Дружинина, Е. Сутырина және басқа да зерттеушілердің еңбектерінде жан-жақты қарастырылған. (Chashina B., Ramazanova N., Atasoy E., (2021:53-64).

Осы зерттеуде Алматы облысы, Ұйғыр ауданы аумағында орналасқан Шарын өзенінің атыраулық жазығындағы агроландшафттары

мысалында топырақ ылғалдылығының кеңістіктік және уақыттық өзгерістері геожүйелік тәсіл арқылы бағаланды. Зерттеу NDWI индексінің маусымдық мәндеріне, вегетациялық кезеңдегі климаттық параметрлерге және EOSDA платформасының аналитикалық модулінде алынған спутниктік деректерге негізделді ([US EOS Data Analytics/https://eos.com/](https://eos.com/)). Бұл зерттеу нәтижелері агроэкожүйелерді тиімді басқару мен жер ресурстарын ұтымды пайдалануға бағытталған географиялық білімді кеңейтуге септігін тигізеді. Зерттеу келесі кезеңдер бойынша жүзеге асырылды (1-сурет).



1-сурет – Ұйғыр ауданы агроландшафттарының егіншілік алқаптарын зерттеу кезеңдері

Зерттеу материалдары мен әдістері

Шарын өзенінің атыраулық жазығындағы агроландшафттар геоморфологиялық, гидрологиялық және агроклиматтық жағдайларының контрастылығы және вегетациялық маусымдағы топырақ ылғалдылығының кеңістіктік өзгергіштігімен ерекшеленеді.

Зерттеу жұмысының бастапқы мәліметтері ретінде EOSDA платформасының визуалды интерфейсі қолданылды ([US EOS Data Analytics/https://eos.com/](https://eos.com/)). Бұл платформалардың сервистері географиялық зерттеулерде өңдеу алгоритмдерін қолдана отырып, ЖҚЗ деректерін өңдеу және талдау мәселелерін жоғары тиімділікпен және дәлдікпен шешеді. Зерттеу аумағы Шарын өзені атырауының егіншілік алқаптарының таңдалып алынған телімдеріне (150 км²) қатысты вегетациялық кезең шеңберінде (сәуір–қыркүйек) 2016, 2018, 2020, 2022 және 2024 жж. арналған Sentinel-2 спутниктік кескіндері ірікте-

ліп алынды. Зерттелетін аумақ бойынша қажетті кескіндер саны таңдалып, кейін біріктірілетін суреттердің орналасуы, атауы мен шекаралары анықталды.

NDWI және NDVI индекстерінің кеңістіктік-уақыттық талдауы агроландшафтардың динамикасын бағалауда тиімді құрал болып табылады. NDVI – бұл сенсорлармен өлшенетін, әр түрлі диапазондағы өсімдіктердің спектрлік шағылыстыруы. Өте жоғары шағылысатын қабілеті бар өсімдік жамылғысының және өсімдіксіз топырақтың, ғимараттардың және т.б. нысандардың арасындағы айқындылықты күшейтетін екі немесе одан да көп спектрлік жолақтардың тіркесімі. NDVI мәндерін талдауға (Черепанов А.С., Дружинина Е.Г., 2009:28-32; Gu Y., Brown J.F., Verdin J.P., Wardlow B., 2007:6407; Jackson T.J., Chen D., Cosh M., Lee F., Anderson M., Tucker C.J. 2004:475-482) еңбектері негіз болды.

Егіншілік алқаптарының күйіне, өнімділігіне геожүйенің физикалық-географиялық ерек-

шеліктеріне сәйкес қалыптасатын, топырақ жамылғысының ылғалдылығының өзгергіштігі үлкен әсер етеді. NDWI динамикасының үрдістері егіншілік алқаптарының құрғақшылығын бақылау үшін, таңдалып алынған телімдерде құрылған кеңістіктік-уақыттық қатарлар бойынша анықталды. 1996 жылы В.С. Gao енгізген, қалыпты жағдайдағы су индексі (NDWI) топырақ жамылғысының ылғалдығын, құрғақшылықты, сулы-батпақты жерлерді, су тасқынын анықтау үшін қолданылады (Gao, B.C., 1996:257-266). NDWI мәндері топырақтың ылғалдылығын өлшеп, егіншілік алқаптарын суарудың тиімділігін бақылап, өнімділіктің төмендеуі немесе жоғарылауы және құрғақшылыққа жедел ден қою туралы ақпарат бере алады.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Шарын өзені атырауы агроландшафт-тарының өңделген кескіндері NDWI, NDVI индекстерін кеңістіктік тұрғыдан дәл бағалауда қолданыс тапты. Сонымен қатар, ЖІҚВК-дегі кешенді климаттық параметрлер – температура (макс/мин),

жауын-шашын, топырақтың беткі және төменгі өсімдік тамыры қабатының ылғалдылығы, жел жылдамдығы, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы, жауын-шашын көрсеткіштері қарастырылды (1-кесте).

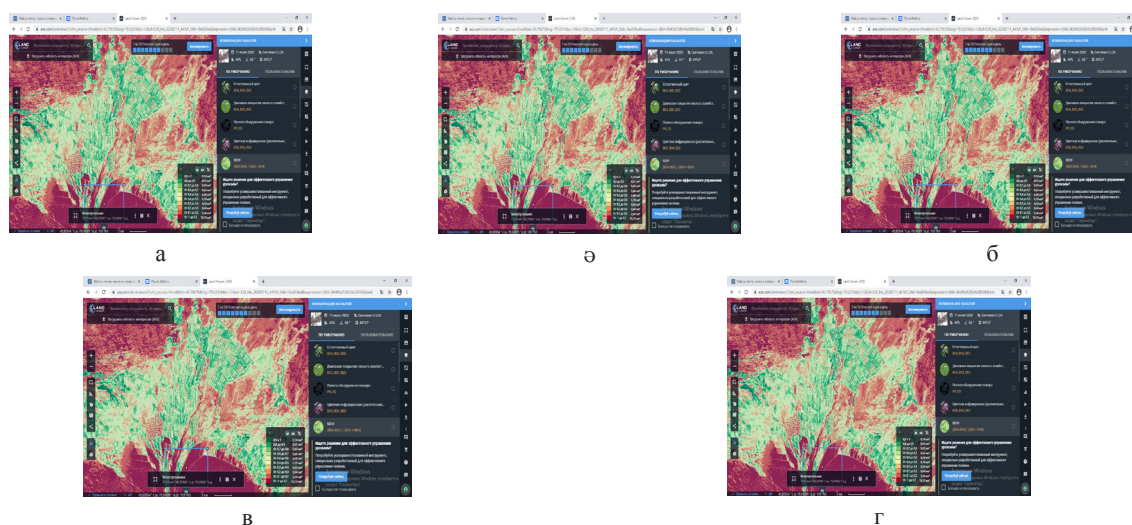
Осы мәліметтерге сәйкес, зерттеу аумағында, вегетация кезеңінде: Максималды орташа температура – 35,04°C, ал орташа мәндер 28–32°C аралығында. Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы біртіндеп төмендеп, орташа көрсеткіші 41–49% шегінде өзгерген. Жауын-шашын мөлшері өте төмен – көп жағдайда 0–10 мм аралығында ғана тіркелген, бұл NDVI индексінің өзгергіштігімен тығыз байланысты.

Топырақтың беткі және төменгі өсімдік тамыры қабаттарындағы ылғалдылық кейбір маусымдарда ғана тіркеліп, орташа шамалар 9–16% аралығында.

NDVI кескіндерінде (2016–2024 жж.) вегетациялық белсенділік жылдар бойынша өзгеріп отырғаны байқалады. Бұл өсімдік жамылғысы мен климаттық факторлар арасындағы өзара байланысты дәлелдеуге негіз береді (2-сурет).

1-кесте – Ұйғыр ауданы, Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының ЖІҚВК-дегі климаттық кешенді көрсеткіштері

Мерзімі	NDVI	Макс t°C	Мин t°C	Топырақтың беткі қабатының ылғалдылығы (%)	Топырақтың төменгі, қабатының ылғалдылығы (%)	Желдің жылдамдығы (м/с)	Ауаның ылғалдылығы (%)	Жауын-шашын (мм)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	-	28,54	17,96	16,39	14,25	2,62	62,97	9,66
	-	30,77	18,61	-	-	2,38	56	0
	-	31	19,5	-	-	2,9	52,23	9,66
Вегетация кезеңі	-	35,04	19,41	-	-	1,92	49,67	0
	-	32,28	16,91	13,55	13,19	1,8	57,58	0
	0,54	30,13	18,25	-	-	2,68	55,42	10,64
	-	32,56	21,62	9,89	11,02	2,78	43,61	0
	-	32,47	21,03	-	-	2,6	44,58	0
	0,24	36,21	19,26	9,95	11,4	2,98	41,73	0
	-	28,77	18,78	11,45	13,06	2,96	57,93	5,09
	-	31,24	19,26	-	-	2,76	47,13	10,19
	-	29,95	19,43	10,58	13,82	2,52	45,04	0
	-	17,56	11,2	-	-	2,95	74,68	5,24



2-сурет – Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының NDVI ғарыштық суреттері (2016-2024 жж., Sentinel-2): а-2024; б – 2022; в – 2020; г – 2018; д – 2016

Шарын өзені атырауы агроландшафттарының өсімдік жамылғысы типі бойынша кеңістіктік-уақыттық қатарлары, NDVI мәндері мен ауданы 2-ші

кестеде, ал вегетация кезеңіндегі минималды, максималды және орташа: бастапқы (mean a) және соңғы (mean b) NDVI мәндері 3-ші кестеде көрсетілді.

2-кесте – Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының өсімдік жамылғысы типі бойынша NDVI динамикасы, 2016-2024 ж.

NDVI индексі	Жамылғы түрі	Ауданы, км ² , жылдар				
		2016	2018	2020	2022	2024
0.8 – 1	Максималды тығыз өсімдік жамылғысы	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6-0.8	Тығыз өсімдік жамылғысы	23.33	25.27	18.11	24.48	19.66
0.4-0.6	Қоңыржай өсімдік жамылғысы	25.97	22.78	23.01	17.61	17.47
0.2-0.4	Сирек өсімдік жамылғысы	31.61	26.76	30.26	24.32	22.90
0.1-0.2	Ашық топырақ	11.96	17.38	18.46	16.31	15.30
-1 до 0.1	Вегетациясыз	1.44	2.45	3.55	6.60	10.18

3-кесте – Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының вегетация кезеңіндегі минималды, максималды және орташа: (бастапқы-соңғы) NDVI мәндері, 2016-2024 ж.

Жылдар	NDVI			
	mean a	mean b	min	max
2016	0.41	0.43	-0.20	0.64
2018	0.40	0.42	-0.28	0.62
2020	0.36	0.39	-0.24	0.60
2022	0.37	0.39	-0.21	0.60
2024	0.37	0.40	-0.18	0.66

2 кестенің деректеріне сәйкес, кеңістік – уақыттық өзгерістер, тығыз өсімдік жамылғысы (0.6–0.8): 2016 ж. 23.33 км² → 2024 ж. 19.66 км², жалпы төмендеу: -3.67 км², ал 2020 ж. күрт төмендеген (18.11 км²). Бұл агрошаруашылық белсенділік немесе климаттық факторлардың әсерін көрсетуі мүмкін. Қоңыржай өсімдік жамылғысы (0.4–0.6): 2016 ж.: 25.97 км² → 2024 ж.: 17.47 км², тұрақты төмендеу байқалады: -8.5 км². Сирек өсімдік жамылғысы (0.2–0.4): 2016 ж.: 31.61 км² → 2024 ж.: 22.90 км², -8.71 км², бұл да вегетациялық жабындының біртіндеп нашарлағанын көрсетеді. Ашық топырақ (0.1–0.2) 2016 ж.: 11.96 км² → 2024 ж.: 15.30 км²+3.34 км², өсімдіктің деградациясы немесе егістік айналымының өзгеруінен болуы мүмкін. Вегетациясыз аумақ (-1–0.1) 2016 ж.: 1.44 км² → 2024 ж.: 10.18 км². Бұл көрсеткіш 6 есе артқан, яғни өсімдік жамылғысы жоқ ашық топырақ аумақтарының айтарлықтай кеңеюін көрсетеді.

3 кестенің деректеріне сәйкес, 2016–2024 жж. аралығында орташа NDVI мәндері айтарлықтай өзгермеген: бастапқы (mean a): 0.41 – 0.37 және соңғы (mean b): 0.43 – 0.40. Бұл өсімдіктердің жалпы өнімділігінде әлсіз төмендеу бар екенін көрсетеді, бірақ динамиканың тұрақты сипатта екендігін көрсетеді.

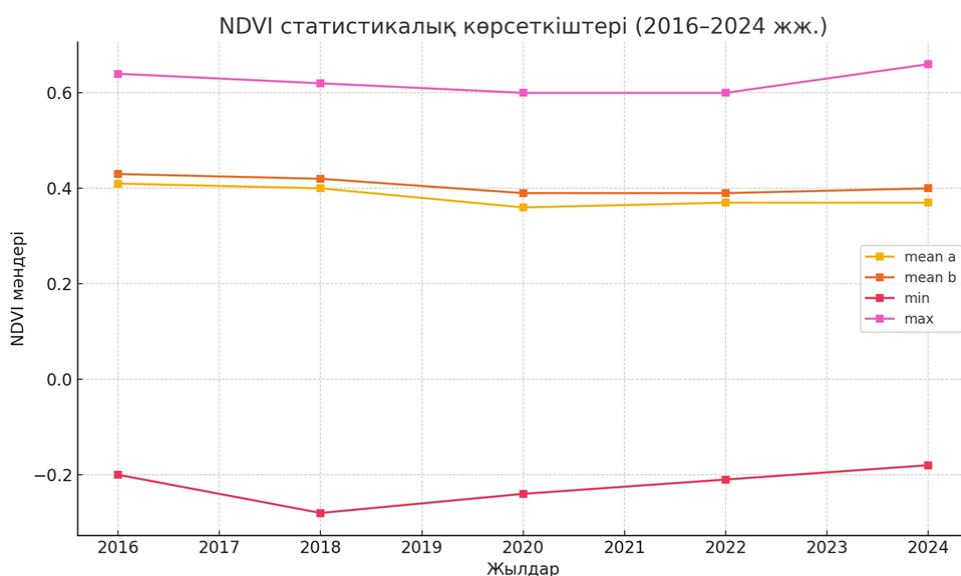
Экстремалды мәндеріне келсек, минималды NDVI көрсеткіштері -0.28 бен -0.18 аралығында өзгеріп, 2024 ж. ең жоғары мәнге жетті (яғни, ең

төмен вегетация жағдайы жақсарды). Максималды NDVI 0.60–0.66 аралығында тұрақты болды. Бұл жоғары өсімдік тығыздығы бар аудандардың белгілі бір деңгейде сақталып отырғанын білдіреді.

NDVI индексінің жалпы орташа мәндері салыстырмалы түрде тұрақты болғанымен, жоғары вегетациялық жабынды аудандары азайып, вегетациясыз және ашық топырақты аумақтар артты. Бұл тенденция шөлейттену, құрғақшылық, немесе жер пайдалану өзгерістерімен (мысалы, жайылымдық/егіндік қысқаруы) байланысты болуы мүмкін.

2024 жылы максималды NDVI 0.66 болғаны – кейбір учаскелерде экожүйе әлеуеті сақталып отырғанын көрсетеді. Бұл нәтижелерге қарап қалпына келтіру немесе дұрыс басқару стратегияларының қажеттілігі айқын байқалады. NDVI мәндері динамикасының кеңістіктік – уақыттық қатарларының интервалдарына сәйкес өсімдік жамылғысы типтерінің ауданы қалай өзгергенін көрсетеді және өсімдік жамылғысының күйі мен тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Мұнда тығыз және қоңыржай өсімдік жамылғысы бар аумақтардың азаюы, ал вегетациясыз және ашық топырақты жерлердің ұлғаюы көрініп тұр.

5-суретте вегетация кезеңіндегі орташа (бастапқы және соңғы), минималды және максималды NDVI мәндерінің статистикалық көрсеткіштерінің динамикасы берілді.



3-сурет – Вегетация кезеңіндегі орташа (бастапқы және соңғы), минималды және максималды NDVI мәндерінің 2016–2024 жылдар аралығындағы динамикасы

NDWI мәндері негізінде 2016–2024 жылдар аралығындағы топырақ ылғалдылығының және минималды, максималды және орташа NDWI

мәндері динамикасы қарастырылып, әр жылдағы маусымдық өзгерістерге талдау жасалды (4-кесте және 5-кесте).

4-кесте – Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының NDWI мәндері, 2016-2024 ж.

NDWI индексі	Жамылғы түрі	Ауданы, км ² , жылдар				
		2016	2018	2020	2022	2024
0.2-0.1	Ашық су беті	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
0-0.2	Субасу, ылғалдылық	0.076	0.013	0.016	0.00	0.217
-0.3-0	Қоңыржай қуаңшылық, сулы емес беттер	141.34	141.61	141.61	141.44	141.38
-0.6-0.3	Қуаңшылық, сулы емес беттер	0.049	0.006	0.00	0.19	0.026
-1-0.6	Құрғақшылық	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5-кесте – Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының минималды, максималды және орташа NDWI мәндері, 2016-2024 ж.

Жылдар	NDWI mean	min	max
2016	-0.17	-0.53	0.21
2018	-0.15	-0.40	0.13
2020	-0.09	-0.25	0.09
2022	-0.16	-0.56	0.12
2024	-0.13	-0.32	0.35

Осы мәліметтерге сәйкес, зерттеу нысанының басым бөлігінде (-0.3–0.0) мәндері, яғни қоңыржай қуаңшылық жағдайы үстем. 2024 жылы салыстырмалы түрде жоғары NDWI мәндері (0.217 км²) тіркелген, бұл су тасқындары мен уақытша батпақты жағдайлардың ықтималдығын көрсетеді. Алайда, тұрақты ылғалдылық тек 2024 жылы ғана (0.001 км²) өте аз көлемде байқалады, басқа жылдары тіркелмеген. NDWI мәндерінің орташа көрсеткіштері 2016–2024 жылдар аралығында біршама тұрақты теріс деңгейде қалып отыр: 2016 ж.: -0.17; 2020 ж.: -0.09; 2024 ж.: -0.13. Бұл көрсеткіштер агроландшафттардың топырақ ылғалдылығында негізінен қуаңшылықтың орташа түрі қалыптасқанын, бірақ кейбір жылдары уақытша ылғалдану деңгейінің жоғарылау үдерістері байқалатынын көрсетеді.

Талдау нәтижесінде 2016–2024 жж. аралығындағы әрбір жыл үшін, құрғақшылық пен ылғалдану аумақтары интерпретацияланып, кеңістіктік-уақыттық қатарлар негізінде NDVI мен NDWI арасындағы жылдық байланыс қарастырылды (6-сурет).

Өсімдіктердің тығыздығын сипаттайтын NDVI және топырақ ылғалдылығын көрсететін NDWI индекстері 2020 және 2024 жылдары салыстырмалы түрде жоғары, бұл вегетация белсенділігі мен топырақ ылғалдылығы арасында оң байланыс бар екенін көрсетеді. 2016 ж. NDWI төмендеген жылдары NDVI мәні де төмендеген. Бұл екі көрсеткіштің үйлесімді қолданылуы агроландшафттардың динамикасын жүйелі бағалауға мүмкіндік береді.



4-сурет – Шарын өзені атырауы егіншілік алқабының 2016–2024 жж. аралығындағы NDVI мен NDWI индекстерінің байланысы

Зерттеу нәтижелері агроландшафттардың топырақ ылғалдылығының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін бағалауда NDWI индексінің тиімді индикатор екенін көрсетеді. NDWI индексінің динамикасын интерпретациялау барысында паншарпенинг әдісі қолданылған кескіндер нақты құрылымдық ерекшеліктерді ажыратуға мүмкіндік берді. Бұл әсіресе егіншілік танаптары ішіндегі ылғал айырмашылықтарын, микробатпақты жүйелерді, сондай-ақ су ағыны жолдарын ажыратуда маңызды.

Қорытынды

Зерттеу Алматы облысы, Ұйғыр ауданы аумағындағы Шарын өзенінің атыраулық жазығында орналасқан егіншілік алқабының физикалық-географиялық жағдайын геожүйелік талдау негізінде жүргізілді. Жұмыс барысында цифрлық әдістер мен заманауи дереккөздер кешенді түрде қолданылып, агроландшафттардың географиялық жағдайы жан-жақты бағаланды. ЖҚЗ деректерін пайдалану нәтижесінде Sentinel-2 серігінен алынған көпарналы кескіндер арқылы NDWI және NDVI индекстеріне талдау жүргізілді. Бұл көрсеткіштер өсімдіктердің вегетациялық белсенділігі мен топырақтағы ылғалдың маусымдық өзгерістерін бағалауға мүмкіндік берді. NDWI индексі әсіресе көктем және ерте жаз мезгілдерінде жоғары мәндер көрсетіп, топырақтың ылғалмен қанығуын нақты көрсетті.

Зерттеу аумағының микроклиматтық жағдайы, топырақ ылғалдылығы мен өсімдік жамылғысының тығыздығының динамикасына геожүйелік

талдауы жүргізілді. Бұл тәсіл агроландшафттардың экологиялық – географиялық әртүрлілігін ескеріп, топырақ ылғалдылығына әсер етуші факторларды анықтауға мүмкіндік берді.

ЖҚЗ деректері нәтижесінде NDVI, ауа температурасы (макс, мин), жауын-шашын, жел жылдамдығы, топырақ ылғалдылығының беткі және өсімдіктің тамыры қабаттарындағы мәндері салыстырмалы түрде сарапталды. NDWI мен топырақтың нақты ылғалдылық көрсеткіштері арасында өзара жоғары корреляция байқалды, маусымдық өзгерістер айқындалды. NDWI индексі топырақ ылғалдылығын бағалауда сенімді индикатор болып табылады және агроклиматтық факторларға сезімтал; NDWI мен NDVI арасындағы байланыс өсімдік жамылғысының ылғалға тәуелділігін айқындауға мүмкіндік берді; Геожүйелік талдау мен ЖҚЗ деректерін интеграциялау агроландшафттардың топырақ және өсімдіктер жамылғысы, климат және гидрологиялық факторлар арасындағы өзара байланыстарды ескеруге мүмкіндік береді, ылғалдылық режимін кешенді бағалаудағы тиімді әдіс деген тұжырым жасалды.

Қорытындылай келе, бұл зерттеу агроландшафттарды басқаруда, су ресурстарын тиімді пайдалануда, ауылшаруашылық жерлерді жоспарлау мен құрғақшылыққа бейім аймақтарда бейімделу стратегияларын құруда ғылыми негізделген әдістемелік үлгі бола алады. ЖҚЗ технологияларын геожүйелік талдау тәсілімен біріктіру – ландшафтық үдерістерді зерттеудің қазіргі заманауи және перспективалық бағыты ретінде бағаланады.

Әдебиеттер

- Аралова, М. К. (2016). Геоакпараттық технологиялар арқылы табиғи агроландшафтарды зерттеу әдістері. ҚР ҰҒА Хабаршысы. География сериясы, (4), 44–50. [In Kazakh]
- Chashina, B., Ramazanova, N., & Atasoy, E. (2021). Analysis of the state of plant cover of the Berezovka river basin of the West-Kazakhstan region based on NDVI. *Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya*, 2(61), 53–64. <https://bulletin-geography.kaznu.kz>
- Cui, Y., Zhao, M., & Zhang, Q. (2022). Monitoring soil moisture using NDWI and remote sensing data: A case study of semiarid croplands. *Remote Sensing*, 14(3), 512. <https://doi.org/10.3390/rs14030512>
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gu Y., Brown J.F., Verdin J.P., Wardlow B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*. 34(6), J06407. <https://doi.org/10.1029/2006GL029127>
- Kazemi Garajeh, M., Salmani, B., Zare Naghadehi, S., Valipoori Goodarzi, H., & Khasraei, A. (2023). An integrated approach of remote sensing and geospatial analysis for modeling and predicting the impacts of climate change on food security. *Scientific Reports*, 13, 1057. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28244-5>
- Керімбай, Б.С., Баймырзаев, Қ.М., & Керімбай, Н.Н. (2024). Значение физико-географических исследований в контексте глобальных изменений природной среды. Вестник КазНУ. Серия географическая, 73(2), 27–43. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v73.i2-03> [In Russian]
- Керімбай, Н.Н., & Керімбай, Б.С. (2023). Жерді қашықтықтан зондылауды геоакпараттық технологиялар әдістерімен талдау. Алматы: Дарын. [In Kazakh]
- Jackson T.J., Chen D., Cosh M., Lee F., Anderson M., Tucker C.J. (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment*. 92, 475–482.
- Лайсханов, Ш. У. (2014). Условия развития природно-хозяйственных систем в агроландшафтах Отрарского района Южно-Казахстанской области. Вестник КазНУ. Серия географическая, 39(2), 49–54. <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/694/580> [In Russian]
- Lottering, R., Peerbhay, K., & Adelabu, S. (2025). Remote sensing applications in agricultural, earth and environmental sciences. *Applied Sciences*, 15(8), 4537. <https://doi.org/10.3390/app15084537>
- Sari, D., Kusuma, H. E., & Prasetyo, L. B. (2023). NDVI and NDWI analysis for land use change monitoring in agricultural regions. *Journal of Environmental Geography*, 16(2), 91–100. <https://doi.org/10.2478/jengeo-2023-0012>
- Tokbergenova, A. A., Zulpikharov, K. B., Mirzabaev, A., Kaliyeva, D. M., Taukebayev, O. Zh., & Yesenbayev, S. M. (2024). Rational use of agricultural land of the West Kazakhstan region in the context of climate change. *Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya*, 1(72), 18–33. <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1379/836>
- US Earth Observing System. (2025, January 07). EOS DA <https://eos.com/>
- Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. (2009). Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. Геоматика, 3, 28–32.

References

- Aralova, M. K. (2016). Geoakparattyk tekhnologiyalar arqyly tabigi agrolandshafttardy zertteu adisteri [Methods for studying natural agro-landscapes using geoinformation technologies]. *Izvestiya NAN RK. Seriya Geograficheskaya*, (4), 44–50.
- Chashina, B., Ramazanova, N., & Atasoy, E. (2021). Analysis of the state of plant cover of the Berezovka river basin of the West-Kazakhstan region based on NDVI. *Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya*, 2(61), 53–64. <https://bulletin-geography.kaznu.kz>
- Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. (2009). Spectral properties of vegetation and vegetation indices, *Geomatics*, 3, 28–32.
- Cui, Y., Zhao, M., & Zhang, Q. (2022). Monitoring soil moisture using NDWI and remote sensing data: A case study of semiarid croplands. *Remote Sensing*, 14(3), 512. <https://doi.org/10.3390/rs14030512>
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gu Y., Brown J.F., Verdin J.P., Wardlow B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*. 34(6), J06407. <https://doi.org/10.1029/2006GL029127>
- Kazemi Garajeh, M., Salmani, B., Zare Naghadehi, S., Valipoori Goodarzi, H., & Khasraei, A. (2023). An integrated approach of remote sensing and geospatial analysis for modeling and predicting the impacts of climate change on food security. *Scientific Reports*, 13, 1057. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28244-5>
- Kerimbay, B. S., Baimyrzaev, K. M., & Kerimbay, N. N. (2024). Znachenie fiziko-geograficheskikh issledovaniy v kontekste global'nykh izmeneniy prirodnoi sredy [The significance of physical-geographical studies in the context of global environmental change]. *Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya*, 73(2), 27–43. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v73.i2-03>
- Kerimbay, N. N., & Kerimbay, B. S. (2023). Analysis of remote sensing of the Earth by methods of geoinformation technologies. *Almaty: Daryn*. [In Kazakh]

Jackson T.J., Chen D., Cosh M., Lee F., Anderson M., Tucker C.J. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans // Remote Sensing of Environment. – 2004. – Vol. 92. – P. 475-482.

Laiskhanov, Sh. U. (2014). Usloviya razvitiya prirodno-khozyaistvennykh sistem v agrolandshaftakh Otrar'skogo raiona Yuzhno-Kazakhstanskoi oblasti [Development conditions of natural-economic systems in the agro-landscapes of Otrar District, South Kazakhstan Region]. Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya, 39(2), 49–54. <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/694/580>

Lottering, R., Peerbhay, K., & Adelabu, S. (2025). Remote sensing applications in agricultural, earth and environmental sciences. *Applied Sciences*, 15(8), 4537. <https://doi.org/10.3390/app15084537>

Sari, D., Kusuma, H. E., & Prasetyo, L. B. (2023). NDVI and NDWI analysis for land use change monitoring in agricultural regions. *Journal of Environmental Geography*, 16(2), 91–100. <https://doi.org/10.2478/jengeo-2023-0012>

Tokbergenova, A. A., Zulpykharov, K. B., Mirzabaev, A., Kaliyeva, D. M., Taukebayev, O. Zh., & Yesenbayev, S. M. (2024). Rational use of agricultural land of the West Kazakhstan region in the context of climate change. Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya, 1(72), 18–33. <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1379/836>

US Earth Observing System. (2025, January 07). EOS DA <https://eos.com/>

Авторлар туралы мәлімет:

Керімбай Баян Сүлейменқызы – PhD, «І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті» КЕ АҚ Жаратылыстану-Техникалық факультетінің қауымдастырылған профессор (доцент) м.а (Талдықорған қ., Қазақстан, эл.почта: bayan.kerimbay.65@mail.ru);

Баймырзаев Қуат Маратұлы – география ғылымдарының докторы, профессор, «І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті» КЕ АҚ, Биотехнология және Экология Ғылыми зерттеу институтының директоры (Талдықорған қ., Қазақстан, эл.почта: baimyrzaev_km@zhgu.kz);

Керімбай Нұржан Нұрбергеноұлы (корреспонденттік автор) – география ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті» КЕ АҚ, Биотехнология және Экология Ғылыми зерттеу институтының экология зертханасының меңгерушісі (Талдықорған қ., Қазақстан, эл.почта: n.kerimbay@mail.ru);

Бахыт Мөлдір Бахытқызы – «Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ», Картография және геоинформатика кафедрасы, «8D07303 – Картография» мамандығының докторанты. эл.почта: (Алматы қ., Қазақстан, m.bakhyt66@gmail.com);

Таженова Сандугаш Калмаханқызы – география магистрі, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕ АҚ, Жаратылыстану институтының аға оқытушысы (Қызылорда қ., Қазақстан, эл. почта: sandugash_77.09@mail.ru)

Information about the authors:

Kerimbay Bayan – PhD, Acting Associate Professor (Associate Professor) of the Faculty of Natural Sciences and technology of the NAO “Zhetysu University named after I. Zhansugurov” (Taldykorgan, Kazakhstan, e-mail: bayan.kerimbay.65@mail.ru);

Baimyrzaev Kuat – director of Biotechnology and Ecology of the Research Institute of NAO “Zhetysu University named after I. Zhansugurov” (Taldykorgan, Kazakhstan, e-mail: baimyrzaev_km@zhgu.kz);

Kerimbay Nurzhan (corresponding author) – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Ecology Laboratory of the Research Institute of Biotechnology and Ecology NAO “Zhetysu University named after I. Zhansugurov” (Taldykorgan, Kazakhstan, e-mail: n.kerimbay@mail.ru);

Bakhyt Moldir – Doctoral student of the “8D07303 – cartography” of the Department of cartography and Geoinformatics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.bakhyt66@gmail.com);

Tazhenova Sandugash – Master of Geography, Senior Lecturer of the Institute of Natural Sciences of the NAO «Kyzylorda University named after Korkyt Ata» (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: sandugash_77.09@mail.ru);

Сведения об авторах:

Керімбай Баян Сүлейменовна – кандидат наук (PhD), доцент (ассоциированный профессор) факультета естественных и технических наук Казахского университета имени И. Жансугурова (Талдықорған, Казахстан, эл. почта: bayan.kerimbay.65@mail.ru);

Баймырзаев Қуат Маратович – доктор географических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института биотехнологии и экологии Казахского университета имени И. Жансугурова (Талдықорған, Казахстан, эл. почта: baimyrzaev_km@zhgu.kz);

Керімбай Нұржан Нұрбергенович (корреспондент-автор) – кандидат географических наук, доцент (ассоциированный профессор), заведующий лабораторией экологии Научно-исследовательского института биотехнологии и экологии Казахского университета имени И. Жансугурова (Талдықорған, Казахстан, эл. почта: n.kerimbay@mail.ru);

Бахыт Молдір Бахытқызы – докторант кафедры картографии и геоинформатики Казахского национального университета имени аль-Фараби, направление «Картография» (Алматы, Казахстан, эл. почта: m.bakhyt66@gmail.com);

Таженова Сандугаш Калмаханқызы – магистр географии, старший преподаватель Института естественных наук Казахского университета имени Коркыта Ата (Кызылорда, Казахстан, эл. почта: sandugash_77.09@mail.ru).

Жіберілді: 12 маусым 2025 жыл

Қабылданды: 09 тамыз 2025 жыл