



Ғылыми мақала

МАҚАТ АУДАНЫНДАҒЫ ВЕГЕТАЦИЯНЫҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ЖАЙЫ: ТЕХНОГЕНДІК ИНФРАҚҰРЫЛЫМ ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ФОН (2000–2024 жж.)

Сактагуль У. Кузбулова , Нургуль Е. Рамазанова  PhD, профессор м.а

¹Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан; sakta_72@mail.ru (СУК), ramazanova_nye@enu.kz (НЕР)

Автор корреспонденциясы: Сактагуль У. Кузбулова, sakta_72@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

NDVI, техногендік ластану, климаттық факторлар, өсімдік жамылғысы, уақыттық динамика, Мақат ауданы.

АБСТРАКТ

Зерттеудің мақсаты — Мақат ауданында техногендік қысым жағдайында өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық динамикасын сандық бағалау. 2000, 2010, 2015, 2021 және 2024 жылдардың маусым айына сәйкес келетін жерсеріктік кескіндер негізінде NDVI есептеліп, нәтижелер «Қазгидромет» РМК мәліметтеріндегі маусым айының орташа температурасы мен жауын-шашын мөлшерімен салыстырылды.

Маусым айы бойынша аудандық орташа NDVI 2000 ж. шамамен 0,14 болса, 2010–2021 жж. $\approx 0,10$ – $0,09$ деңгейіне дейін төмендеп, 2024 ж. $\approx 0,21$ қайта өсті. Кеңістіктік талдау өндірістік алаңдар, құбыр желілері мен ілеспе инфрақұрылым маңында тұрақты төмен NDVI дақтарының сақталатынын көрсетті. Бұл учаскелерде төмен (C1–C2) және орташа кластардың үлесі жоғары, ал жоғары вегетациялық класс (C5) үлесі қысқарған кезеңдерде (2010–2021 жж.) ең аз мәндерге дейін төмендеді; 2024 ж. қайта өскенімен, негізгі өндірістік белдеулерде салыстырмалы түрде төмен күйде қалды. NDVI сәуір-маусым айындағы жиынтық жауын-шашынмен оң, ал ауа температурасының жоғарылауымен теріс байланыс көрсетеді; демек, шөлейт жағдайда су тапшылығы жылдар бойынша өзгергіштікті айқындайды, ал техногендік жүктеме (шаң-газ шығарындылары, мұнай өнімдері мен тұзды сулардан ластану, топырақтың тұздануы, құрылымының бұзылуы, факелдік жану) нақты учаскелерде өсімдік жамылғысының жергілікті әлсіреуін күшейтеді. Бұл нәтижелер климаттық фоннан тәуелсіз түрде техногендік ықпал аймақтарында NDVI-дің тұрақты төмендеу трендінің көрсетеді және табиғи кешендердің осал учаскелерін айқындауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер климаттық факторлар мен техногендік жүктеменің бірлескен ықпалын айқындап, маусым айына стандартталған NDVI өңір геожүйелерінің күйін мониторингтеудің қолданбалы құралы екенін дәлелдейді.

1. КІРІСПЕ

Қазіргі кезеңде мұнай-газ өндірісінің қарқынды дамуы табиғи ортаның экологиялық тұрақтылығына айтарлықтай әсер етуде. Өндірістік кәсіпорындардың қызметі нәтижесінде топырақ пен су құрамына зиянды заттардың түсуі, газдың факельдік жануы және шаң-тозаң эмиссиялары өсімдік жамылғысының деградациясын үдетуі мүмкін [1-3].

Қазақстанның батыс аймақтарында, әсіресе Атырау облысының Мақат ауданында мұнай-газ инфрақұрылымының шоғырлануы табиғи геожүйелердің техногендік жүктемеге бейімделуін зерттеуді өзекті етеді.

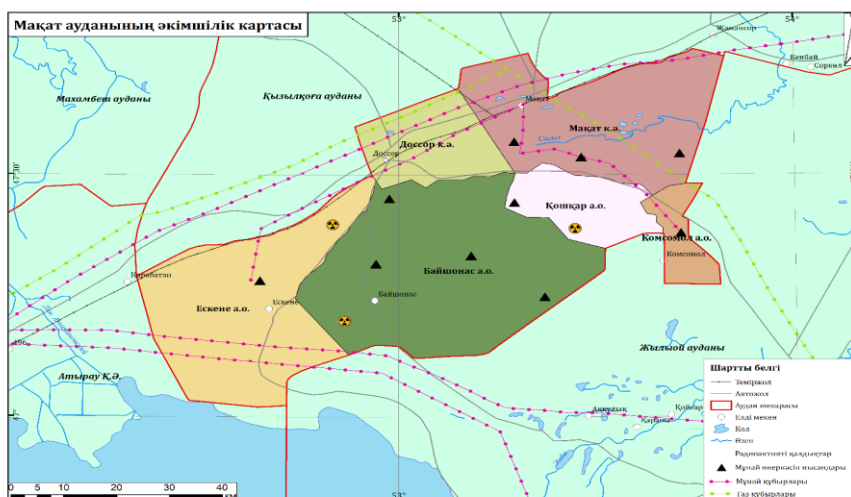
Өсімдік жамылғысы геожүйелердің экологиялық жай-күйін бағалауда негізгі биоиндикатор болып табылады. Вегетациялық өзгерістерді қашықтықтан зондтау әдістері арқылы талдау экологиялық мониторингтің тиімді құралдарының бірі болып саналады. Солардың ішінде NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) көрсеткіші өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігін, биомассаның жағдайын және деградация дәрежесін бағалауға мүмкіндік береді [4-5].

Климаттық факторлар да өсімдік жамылғысына тікелей әсер етеді. Әсіресе шөлейтті және құрғақ аймақтарда жауын-шашын мөлшерінің азаюы мен температураның жоғарылауы вегетациялық белсенділікті әлсіретіп, техногендік факторлармен ұштасқанда синергиялық әсер туғызады [6-8]. Сондықтан техногендік жүктеме мен климаттық өзгерістердің бірлескен ықпалын бағалау ландшафттық тұрақтылықты зерттеуде маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

Осыған байланысты, зерттеудің мақсаты – Мақат ауданында NDVI негізінде өсімдік жамылғысының кеңістіктік-уақыттық құрылымын сандық сипаттап, NDVI-дің маусым айындағы температура мен жауын-шашынмен байланысын бағалау.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Мақат ауданы Атырау облысының оңтүстік шығысында, Каспий маңы ойпатының шегінде орналасқан — Қазақстанның мұнай-газ өнеркәсібі дамыған тарихи аудандарының бірі. Аудан батысында Махамбет ауданы және Атырау қаласымен, солтүстігінде Қызылқоға ауданымен, оңтүстігінде Жылыой ауданымен шектеседі. Жер аумағы 9,1 мың км². Халқы 29,2 мың адам (2024). Ауданда Мақат, Доссор, Байшонас, Комсомол, Ескене, Қошқар кенттері бар (1–сурет).



Сурет 1. Мақат ауданының әкімшілік картасы

Жер бедері жазықты, толқынды-ойпаңды формалар басым. Биіктік абсолюттік деңгейі теңіз деңгейінен төмен – 24 м-ден 68 м-ге дейін өзгереді. Эолды және

Мақала жайында:

Жіберілді: 16.09.2025
Қайта қаралды: 19.02.2026
Қабылданды: 31.03.2026
Жарияланды: 01.04.2026

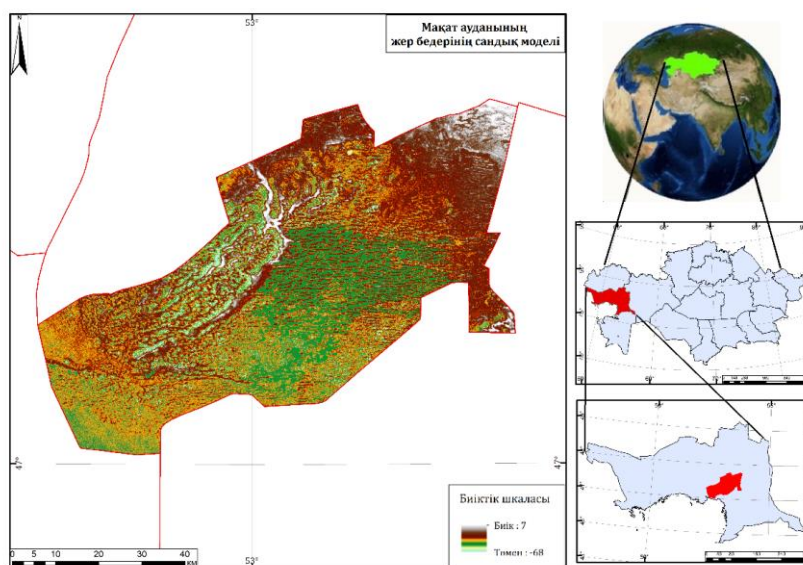
Дәйексөз үшін:

Кузбулова С.,
Рамазанова Н. Мақат ауданындағы вегетацияның кеңістіктік-уақыттық жайы: техногендік инфрақұрылым және климаттық фон (2000–2024 жж.)
// Гидрометеорология и экология, 121 (1), 2026, 163–175.

делювиальды процесс басым дамыған[8-9]. Жазықты аймақта ойыстар мен тұзды шағын сорлар, құрғақ арналар (сайлар), шағылды формалар жиі кездеседі.

Бұл көрсеткіштер Мақат ауданының едәуір бөлігінің Каспий теңізі деңгейінен төмен жатқандығын көрсетеді. Ол топырақ ылғалдылығының жоғарылауына, жер асты суларының жақын орналасуына және кей жерлерде сор мен батпақты алқаптардың қалыптасуына ықпал етеді(2-сурет).

Жазық және төмен бедердің басым болуы, әсіресе, климаттық және техногендік факторлармен бірге, өсімдік жамылғысының шоғырлануы мен сипатына тікелей әсер етеді. Су ағымының әлсіз немесе болмауы, рельефтің төмендігі жер үсті сулардың жиналуына, дренаждың нашарлығына себеп болады. Бұл факторлар NDVI көрсеткіштерімен бірге қарастырылғанда, ландшафтық құрылым мен деградация деңгейін бағалауға мүмкіндік береді.



Сурет 2. Мақат ауданының жер бедерінің сандық моделі

Мақат ауданы қатаң континенттік климаттық белдеуде орналасқан, бұл аймаққа жаздың ыстық және құрғақ, ал қыстың суық және қарсыз болуы тән. Орташа жылдық температура $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ шамасында. Қаңтар айындағы орташа температура $-10\text{...}-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, шілдеде $+30\text{...}+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ дейін жетеді. Жылдық жауын-шашын мөлшері $100\text{--}150\text{ мм}$ аралығында, бұл — шөлді климатқа тән көрсеткіш. Жел бағыты негізінен солтүстік-шығыстан және солтүстіктен соғады, кей кездері $15\text{--}20\text{ м/с}$ жылдамдықпен соғатын күшті желдер тіркеледі. Климаттың құрғақтығы және буланудың жоғары болуы геожүйелердің ылғалмен қамтамасыз етілуін шектейді[10-13].

Өсімдік жамылғысы шөлге бейімделген ксерофитті түрлерден тұрады. Көпжылдық бұталар мен жартылай бұталар (қара жусан, сораң, теріскен, көкпек) басым.

Ауданның су ресурстары мардымсыз. Тұрақты ағын сулар жоқ.

Бұл өңірде мұнай өндіру ісі алғаш рет XX ғасырдың басында, 1911 жылы орыс-ағылшын бірлескен кәсіпорнының бастамасымен қолға алынды. Ірі мұнай кен орындары Мақат, Доссор, Қошқар, Ескене, Комсомол, Байшонас, Ботақан.

Жылдық мұнай өндіру көлемі облыстық көрсеткіштің айтарлықтай бөлігін құрайды. Соңғы онжылдықта аудан бойынша мұнай өндіру жылына орта есеппен $1,2\text{--}1,5$ млн тонна деңгейінде тұрақтаған.

Аудан арқылы республикалық және халықаралық деңгейдегі бірқатар магистральдық құбырлар өтеді. Солардың ішінде «Атырау – Самара» мұнай құбыры және өндірістік инфрақұрылымға қызмет көрсететін жергілікті құбыр жүйелері бар. Бұл

желілер Қазақстанның батыс өңірлерін Ресей Федерациясымен және әлемдік нарықпен байланыстыратын стратегиялық маңызы бар көлік инфрақұрылымын құрайды.

Сонымен қатар аудан аумағы арқылы «Теңіз – Новороссийск» магистральдық мұнай құбыры және «Мақат – Солтүстік Кавказ» магистральдық газ құбыры өтеді. Бұл құбырлар Каспий маңы мұнай-газ кешенінің өнімдерін сыртқы нарыққа жеткізуде негізгі бағыттардың бірі болып табылады.

Дереккөздер және іріктеу: Зерттеу 2000, 2010, 2015, 2021 және 2024 жылдардың маусым айына сәйкес спутниктік кескіндерге негізделді: Landsat 7 ETM+ (2000; 2010 — SLC-off жолақ артефактілері масқаланған), Landsat 8 OLI (2015), Sentinel-2 MSI (2021, 2024). Бұлттылық критерийі ≤20% қолданылды. Деректер USGS EarthExplorer және Copernicus Open Access Hub платформаларынан алынды [14-15].

Алдын ала өңдеу. Кескіндер радиометриялық және атмосфералық түзетуден өткізіліп, бұлт, көлеңке пиксельдері масқаланды (Landsat — Fmask/LaSRC, Sentinel-2 — Sen2Cor) [16-18]. Барлық растрлар WGS84 / UTM Zone 39N проекциясына келтірілді және кеңістіктік ажыратымдылығы 30 м деңгейінде біріздендірілді [19-20]

NDVI есептеу және картографиялау.

Өсімдік жамылғысының күйі NDVI арқылы бағаланды(1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \tag{1}$$

Мұндағы:

NIR (Near Infrared) – жақын инфрақызыл диапазондағы шағылысу мәні (өсімдік бұл диапазонда жақсы шағылыстырады),

RED (Қызыл) – қызыл жарық диапазонындағы шағылысу мәні (өсімдік бұл диапазонда көп сіңіреді).

NDVI класстандыруы барлық талданған жылдарда (2000, 2010, 2015, 2021, 2024 жж.) бірдей тұрақты шектермен жүргізілді: C1–C5 (өте төменнен жоғарыға дейін). Жіктеу шектері мен түстік интерпретациясы төмендегі кестеде келтірілген; бұл біріздендіру жылдар бойынша салыстырмалылықты қамтамасыз етеді (1–кесте).

Кесте 1

NDVI кластар және интерпретациясы (барлық жылдарға ортақ шектер)

Класс	NDVI аралығы	Түстік интерпретация	Қысқаша түсіндірме
C1	-0,520...-0,102	Қызыл	Өте төмен, теріс NDVI: су, жалаңаш, тұзданған топырақ, техногендік беттер
C2	-0,102... 0,049	Сарғыш	Төмен NDVI: сирек, әлсіз вегетация, стресс
C3	0,049... 0,138	Сары- ашық жасыл	Орташа NDVI:
C4	0,138... 0,181	Жасыл	Орташа жоғары NDVI: қалыпты өсімдік жамылғысы
C5	0,181... 0,704	Қою жасыл	Жоғары NDVI: тығыз, белсенді вегетация

Есептеулер мен картографиялау ArcGIS 10.8 ортада жүргізілді.

«Техногендік контекст сапалық түрде бағаланды: NDVI карталары өндірістік инфрақұрылым элементтерімен (ұңғымалар, құбыр трассалары, жол-көлік және өндірістік алаңдар) визуалды салыстырылды. Буферлік немесе зоналық сандық талдау жүргізілмегендіктен, интерпретация индикативті сипатта берілді.»

Ландшафтық жүйелердегі өзгерістердің климаттық жағдайлармен байланысын анықтау үшін “Қазгидромет” РМК-ның көпжылдық метеорологиялық бақылаулары пайдаланылды. Сонымен қатар, индустриялық ластану контекстін сипаттау мақсатында 2021 жылдың маусым айына қатысты Қазгидромет бекеттерінде тіркелген күкіртті сутек (H₂S) концентрациясының ШРК-дан асу эпизодтары қолданылды (толық дерек тізімі — 4–кесте) [10].

Климаттық фонды сипаттау үшін 2000, 2010, 2015, 2021 және 2024 жылдарға қатысты жылдық орташа температура және жылдық жауын-шашын мәндері кесте түрінде келтірілді. Негізгі статистикалық салыстыру маусым айына стандартталған:

NDVI маусым айының температурасы және жауын-шашынымен, қосымша түрде сәуір–маусым айларындағы жиынтық жауын-шашынымен салыстырылды; жылдық агрегаттар тек климаттық контекст үшін пайдаланылды (2,3–кесте)

Бұл әдіс климаттық факторлар мен техногендік әсердің біріктірілген ықпалын бағалауға мүмкіндік береді.

Кесте 2

Атырау метеостанция бойынша орташа айлық және жылдық ауа температурасы, °C (2000, 2010, 2015, 2021, 2024 жж.)

Метеостанция Атырау	Айлар												ЖЫЛ
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2000	-3,33	-0,44	3,75	15	15	23,2	27	25,6	16,3	7	-0,61	-2,01	10,55
2010	-3,08	-0,55	3,79	14,5	14,8	22,3	27	25,6	16,3	7	0,6	-2,7	10,46
2015	-5,88	-6,43	0,10	10,8	23,4	28,9	27,02	24,6	20,44	7,5	2,6	0,6	11,10
2021	-3,6	-4,7	0,58	14,3	24,6	28,7	29,4	30,4	17,7	9,6	2,3	-0,8	12,3
2024	-5,7	-2,9	2,5	17,8	17,3	27,4	28,3	25,8	19,9	10,6	3,1	-2,6	11,8

Кесте 3

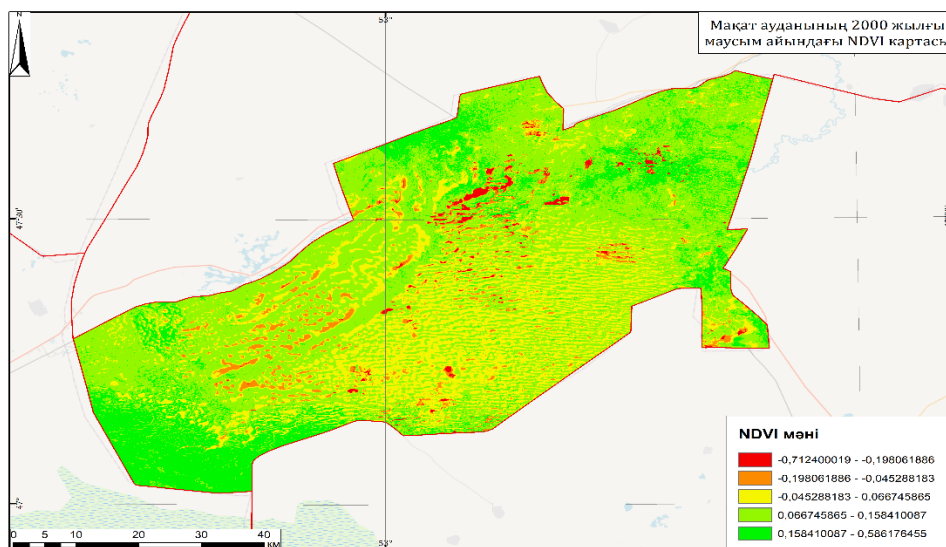
Атырау метеостанция бойынша орташа айлық, жылдық және маусымдық жауын шашын мөлшері, мм (2000, 2010, 2015, 2021, 2024 жж.)

№	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жыл	маусым	
														XI-III	IV-X
2000	4	9,3	3,9	17	57,3	41,4	7,3	40,9	6,7	31,2	28,4	18	265,4	63,6	201,8
2010	7,3	10,7	16,2	21	41,1	0	12,4	1,2	0	26,1	3,7	2,9	142,6	40,8	101,8
2015	7,7	12,1	18	14	93	0	27,1	3,4	12,3	7,8	24	48,9	268,3	110,7	157,6
2021	6	25,7	11,1	11	2,1	4,2	6,2	0	6,6	9,5	22,4	17,8	122,6	83	39,6
2024	15,3	39	27,2	10	32,8	20,7	7,8	3,7	2,2	25,2	32,3	14,2	230,4	128	102,4

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

2000, 2010, 2015, 2021 және 2024 жылдар аралығындағы NDVI көрсеткіштері аудан аумағында өсімдік жамылғысының әркелкі кеңістіктік таралуын көрсетті.

2000 жыл (кластар бойынша). Аудандық орташа NDVI ≈0,14(3–сурет). Кеңістікте C4 класы басым (≈52,8%), бұл «орташа–жоғары» вегетациялық фонды көрсетеді. C5— жоғары вегетация үлесі ≈16,0%. Төмен кластардың үлесі: C2 — ≈24,5%, C3— ≈2,7%, C1 — ≈4,0%. Жалпы алғанда, 2000 жылы аумақта C3–C4 кластар үстем, C5 аймақтары ылғал жиналатын жер бедермен (өзен аңғарлары, ойпаңдар) сәйкес келеді, ал C1–C2 сирек өсімдікті, стресс жағдайындағы учаскелерінде шоғырланған. (Кластар шектері мен түсіндірмелері — 1–кесте)



Сурет 3. Мақат ауданының 2000 жылғы NDVI көрсеткіші

Метеодеректердегі жылдық температура мен жауын-шашын өңірдің аридті климаттық фонын көрсетеді; алайда NDVI-дің уақыттық динамикасын түсіндіруде негізгі мәнге маусым айындағы климат және оның алдындағы ылғал (сәуір–маусым айлары) ие.

2000 жылғы Атырау метеобекетінің орташа жылдық температурасы $+10,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ болды. Айлық көрсеткіштер қыста $-3,33 - 0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ аралығында болса, жазда $+23,2 + 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа жеткен (2–кесте).

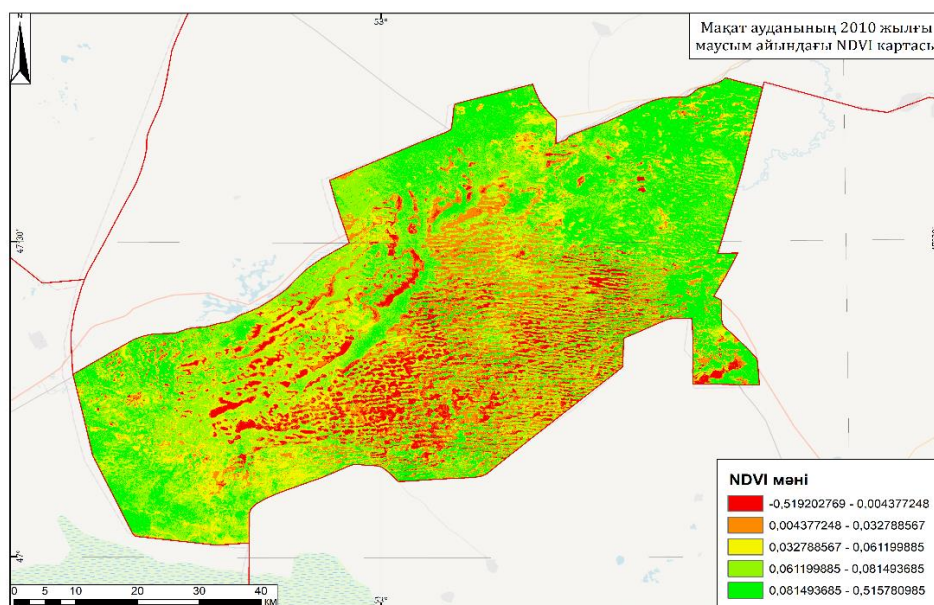
Жылдық жауын-шашын мөлшері 265,4 мм, оның ішінде вегетациялық кезеңде (сәуір–қазан) 201,8 мм, ал суық кезеңде (қараша–наурыз) 63,6 мм түскен (3–кесте).

Осы климаттық фон жағдайында, ауданның басым бөлігінде вегетациялық күй орташа деңгейде сақталды. Алайда өндірістік нысандарға іргелес аумақтарда NDVI тұрақты төмен деңгейде қалды; бұл құбылыс техногендік жүктеменің жоғары болуымен кеңістіктік тұрғыда үйлеседі және климаттық өзгерістен гөрі, техногендік жүктеменің ықтимал әсерімен түсіндіріледі.

2010 жылы орташа жылдық ауа температурасы $10,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ болып, көпжылдық нормаға жуық келді; жылдық жауын-шашын 142,6 мм-ге дейін азайып, 2000 жылмен салыстырғанда шамамен екі есеге төмен болды (2-3–кесте). Бұл тапшылық вегетациялық кезеңде топырақ ылғалдылығының айқын кемуіне алып келгенін көрсетеді.

Осы климаттық көрсеткіш аясында 2010 ж. маусым айында аудандық орташа NDVI $\approx 0,10$ тіркеліп, вегетациялық белсенділік ортадан төмен деңгейде болды. Кеңістіктік құрылым мозаикалық сипатта: жоғары NDVI аймақтары (C4–C5) негізінен гидроморфты элементтермен—өзен аңғарлары мен ойпаңдармен—шектеледі, ал төмен кластар (C1–C2) көбіне өндірістік инфрақұрылымға іргелес аумақтарда және жол–құбыр дәліздері бойында шоғырланады (4–сурет; кластар: 1–кесте).

Бұл кеңістіктік сәйкестік 2010 жылғы ылғал тапшылығының NDVI-ді төмендетудегі негізгі рөлін, ал техногендік жүктеменің (индустриялық алаңдар мен желілер маңы) жергілікті деңгейде төмен мәндерді индикативті түрде күшейтуі мүмкін екенін меңзейді.



Сурет 4. Мақат ауданының 2010 жылғы NDVI көрсеткіші

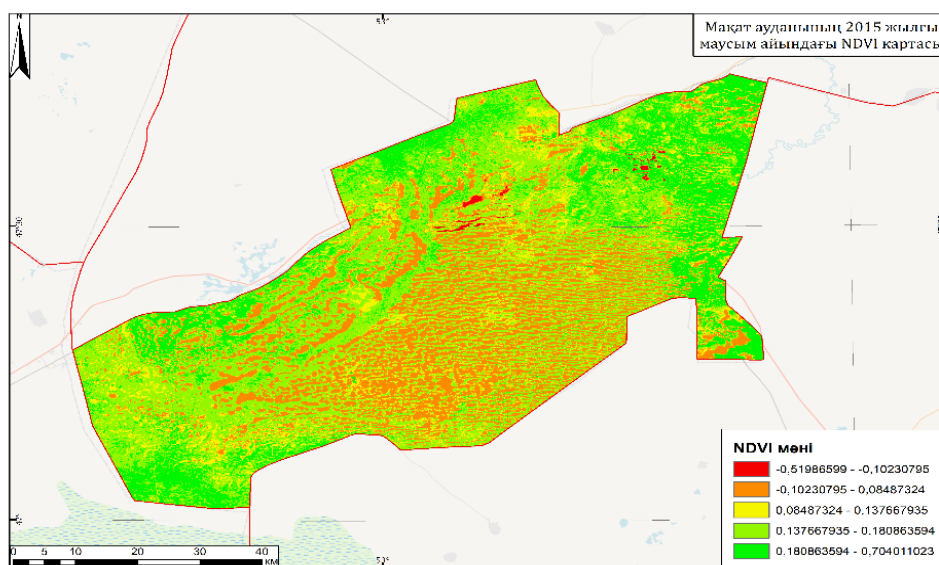
2015 жылдың маусым айында ауа температурасы өте жоғары болды ($28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), ал жауын-шашын тіркелмеді (0 мм) (2-3–кесте). Мұндай ыстық әрі қуаң фон вегетацияның су тапшылығын күшейтіп, фотосинтетикалық белсенділікті шектейді. Осы жағдайға сәйкес аудандық орташа NDVI $\approx 0,10$ тіркеліп, вегетациялық белсенділік орташа деңгейден төмен болды (5–сурет).

Жоғары NDVI аймақтары (C5, $NDVI \geq -0,18$) негізінен гидроморфты элементтерде — өзен аңғарлары, ойпаңдар, уақытша сулы алаптар — шоғырланған және аумақтың шамамен 22,3%-ын құрайды.

Өте төмен NDVI (C1, $NDVI < -0,10$) үлесі $\approx 17,0\%$; олар көбіне жалаңаш, тұзданған беттермен және өндірістік инфрақұрылымға (ұңғымалар, құбыр, жол дәліздері, техногендік алаңдар) іргелес учаскелермен сәйкес келеді.

Қалған аумақта төмен және орта кластар (C2–C3) басым, бұл шөлейт ландшафттардағы ылғалмен шектелуді көрсетеді.

2015 ж. маусым айындағы қатты ыстық пен жауын-шашынның болмауы аудан бойынша NDVI-дің төмен деңгейін айқындады; жоғары мәндер тек гидроморфты учаскелерде сақталды. Төмен немесе теріс NDVI дақтарының өндірістік белдеулер маңында жиі кездесуі техногендік жүктеменің жергілікті әлсіретуші ықпалын аңғартады.



Сурет 5. Мақат ауданының 2015 жылғы NDVI көрсеткіші

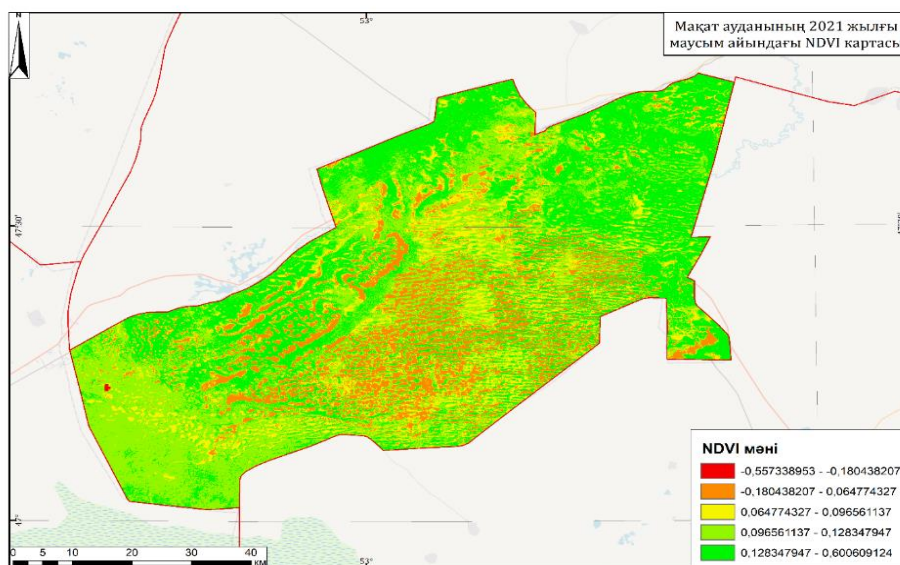
Климаттық жағдай. 2021 ж. маусым айында ауа температурасы айтарлықтай жоғары, жауын-шашын өте аз болды (айлық орташа $T = 28,7\text{ }^\circ\text{C}$, $P = 4,2\text{ мм}$; жылдық $T_{\text{жыл}} = 12,3\text{ }^\circ\text{C}$, $P_{\text{жыл}} = 122,6\text{ мм}$; 2-3-кесте). Мұндай қуаң әрі ыстық фон вегетациялық кезеңде топырақ ылғалының жетіспеуін күшейтті.

Маусым айындағы аудандық орташа NDVI $\approx 0,09$, вегетациялық белсенділік ортадан төмен деңгейде. Жоғары класстың үлесі (C5) $\approx 0,4\%$ ғана; төмен және орта кластар (C1–C3) басым. Жоғары NDVI ошақтары (C4–C5) тек гидроморфты элементтермен (өзен аңғарлары, ойпаңдар) шектеледі, ал өте төмен, теріс NDVI (C1) дақтары өндірістік инфрақұрылымға (ұңғымалар, құбыр, жол дәліздері, техногендік алаңдар) іргелес аумақтарда жиілейді (сурет 6).

Техногендік эпизод (H_2S). Қазгидромет деректері бойынша маусым айының 15–30 күндері аралығында Мақат кентіндегі №102 «Самал» автоматтандырылған бекетінде H_2S бойынша 21 рет жоғары ластану тіркелген; анықталған концентрациялар 10,91–29,27 ШПК аралығында (Кесте 4). Осы кезеңде өңірдегі басқа бекеттерде де ШПК-дан артық мәндер байқалды (Доссор, Мақат, Ескене, Таскескен).

2021ж. NDVI-дің аудандық деңгейде төмен болуы ең алдымен ылғал тапшылығымен түсіндіріледі (күрғақ әрі ыстық кезең). Сонымен қатар, H_2S ластануының тіркелген эпизодтары уақыт жағынан NDVI-дің төмен режимімен мезгілдес және төмен, теріс кластардың өндірістік белдеулер маңында шоғырлануымен кеңістіктік тұрғыда үйлеседі. Бұл фактілер техногендік стресс ықтималдығын білдіреді.

2021ж. маусымдағы құрғақшылық NDVI-ді төмендетудің негізгі климаттық драйвері болды; күкіртті сутектің шамадан тыс концентрациялары өндірістік белдеулерде вегетацияның төмен күйін жергілікті деңгейде күшейтетін қосымша стресс ретінде көрінді.



Сурет 6. Мақат ауданының 2021 жылғы NDVI көрсеткіші

Кесте 4

Күкіртті сутек (H₂S) концентрациясының ШРК-дан асуы. (2021 жылғы маусым, Казгидромет мәліметі)

Станция	ПДК-дан асу (есе)	Бағалау
Доссор	3,17	Рұқсат нормасынан 3 есе жоғары
Мақат	2,22	Рұқсат нормасынан 2 есе жоғары
Ескене (кент)	4,81	Рұқсат нормасынан 5 есе жоғары
Ескене (станция)	4,36	Рұқсат нормасынан 4 есе жоғары
Таскескен	4,48	Рұқсат нормасынан 4,5 есе жоғары
Самал шағ. ауд.	29,27	Өте жоғары, 29 есе артық

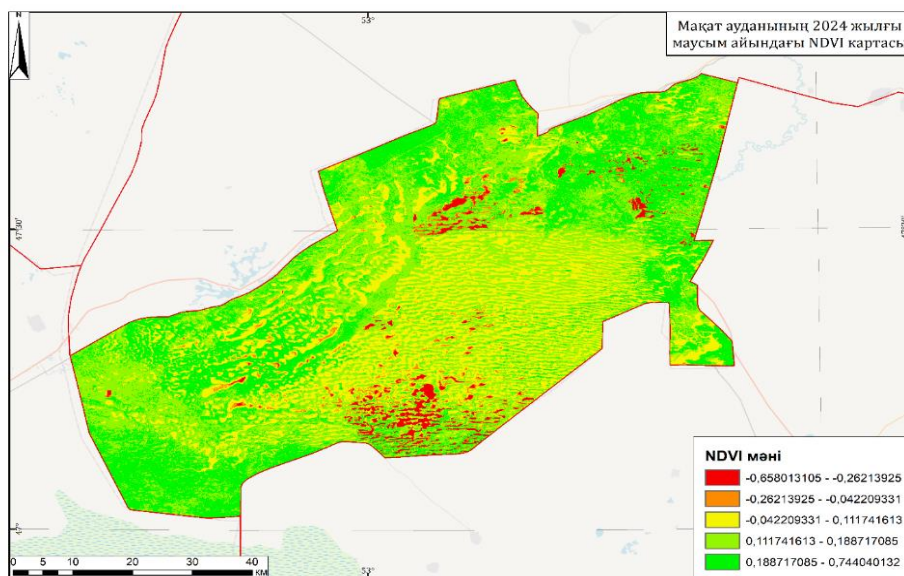
2024 жылдың жылдық орташа температура 11,8 °С болды (2–кесте). Маусым айында T = 27,4 °С, жауын-шашын 20,7 мм түсті; жылдық жауын-шашын 230,4 мм, оның IV–X айлар кезеңінде 102,4 мм, XI–III айлар кезеңінде 128 мм тіркелді (3–кесте). Бұл ылғалмен қамтылу деңгейі 2010 және 2021 жж. қуаңшылық фонынан жоғары, демек вегетация үшін су қолжетімділігі жақсырақ болды.

Маусым айындағы аудандық орташа NDVI ≈ 0,21; жоғары вегетация класы C5-тің үлесі ≈29%, ал өте төмен кластың (C1) үлесі аз. Жоғары NDVI (C4–C5) өзен аңғарлары, ойпаңдар және ылғал жиналатын микрорельефтермен кеңінен сәйкес келеді; төмен, орта кластар (C2–C3) шөлейт жайылымдарда сақталғанымен, олардың аумағы қуаң жылдармен салыстырғанда тарылған. Картада C1–C2 дақтарының өндірістік инфрақұрылыммен (ұңғымалар, құбыр, жол дәліздері, техногендік алаңдар) ішінара қабаттасуы байқалады (7–сурет).

2024 ж. маусым айындағы ылғалдың салыстырмалы молдығы (айлық жауын-шашын және жылдық жиынтық) мен ыстықтың 2015, 2021 жылдардан гөрі жұмсақырақ фоны NDVI-дің айқын қалпына келуімен (орташа мәннің ≈0,21-ға өсуі, C5 үлесінің ~30%-ға жетуі) үйлеседі. Дегенмен өндірістік белдеулерге жақын төмен NDVI ошақтарының сақталуы жергілікті техногендік стресстің бар екенін білдіреді.

2024 жылы климаттық фон (ылғалдың артуы, маусым айында P=20,7 мм) вегетацияның айлық күйін жақсартып, NDVI-дің аудандық деңгейде жоғарылауына алып

келді; кеңістіктік құрылымда жоғары кластардың (C4–C5) таралуы ұлғайды. Техногендік инфрақұрылым маңындағы төмен кластардың (C1–C2) тұрақты ошақтары, тіпті ылғалды жылдың өзінде, жергілікті антропогендік әсердің сақталып отырғанын көрсетеді.



Сурет 7. Мақат ауданының 2024 жылғы NDVI көрсеткіші

NDVI динамикасы Мақат ауданында климаттық шектеулер (әсіресе ылғал тапшылығы) мен техногендік жүктеменің қосарланған әсеріне сезімтал екенін байқатады.

Өндірістік инфрақұрылым маңында NDVI төмен деңгейде тұрақты қалып отыр. 2024 жылғы қолайлы климат NDVI қалпына келуіне ықпал етті, бірақ ластану аймақтарында толық қалпына келу шектелді.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

2000–2024 жж. аралығында Мақат ауданы бойынша маусым айындағы аудандық орташа NDVI $\approx 0,14$ (2000) деңгейінен 2010–2021 жж. аралығында $\approx 0,10$ – $0,09$ дейін төмендеп, 2024 ж. $\approx 0,21$ -ға дейін қайта өсті. Жоғары вегетациялық класс C5 үлесі 2000 ж. $\approx 16\%$, 2021 ж. $\approx 0,4\%$, 2024 ж. $\approx 29\%$ болды; 2015 ж. жоғары класс $\approx 22,3\%$, ал өте төмен NDVI (C1, $< -0,10$) $\approx 17,0\%$ үлеске жетті. Бұл нәтижелер 2010–2021 жж. қуаң кезең, 2024 жылы ылғалдырақ фон болғанын көрсетеді.

Жоғары NDVI (C4–C5) өзен аңғарлары, ойпаңдар және ылғал жиналатын микрорельефтермен тұрақты сәйкеседі; төмен кластар (C1–C2) шөлейт жайылымдар мен индустриялық инфрақұрылымға (ұңғымалар, құбыр-жол дәліздері, өндірістік алаңдар) іргелес учаскелерде шоғырланады. 2024 жылы ылғалдың артуына қарамастан, осы белдеулерде төмен NDVI ошақтарының сақталуы жергілікті антропогендік стресс ықтималдығын индикативті түрде меңзейді.

2010 ж. жылдық жауын-шашын 142,6 мм (2000 ж. 265,4 мм-ден шамамен екі есе аз) болды; 2015 ж. маусымында $T=28,9$ °C, $P=0$ мм; 2021 ж. маусым айында $T=28,7$ °C, $P=4,2$ мм; 2024 ж. маусым айында $T=27,4$ °C, $P=20,7$ мм (жылдық 230,4 мм). Осы деректер NDVI төмендеуінің негізгі климаттық драйвері — ылғал тапшылығы, ал 2024 жылы ылғалдың артуы NDVI-дің қалпына келуімен қабаттасқанын көрсетеді.

2021жылы маусым айының 15–30 күні аралығында «Самал» АББ-да 21 рет жоғары ластану тіркеліп, H_2S концентрациялары 10,91–29,27 ШПК шегінде болды; өзге бекеттерде де ШПК-дан асу байқалды (10–кесте). Бұл эпизод 2021 ж. төмен NDVI режимімен уақыт жағынан мезгілдес, төмен теріс кластардың өндірістік белдеулер маңында жиілеуімен кеңістіктік тұрғыда үйлеседі.

NDVI карталары осал учаскелерді (C1–C2) айқындауға, деградацияланған жайылымдарды және индустриялық белдеулердегі тұрақты төмен дақтарды мониторингілеуге мүмкіндік береді. 2024 ж. қолайлы климатта да мұндай дақтардың сақталуы жергілікті геожүйелік қысымды көрсетеді.

Қорыта келе Мақат ауданындағы вегетациялық кезеңнің динамикасы ылғалмен шектелу жағдайында жылдар бойынша айтарлықтай өзгерді; 2010–2021 жж. құрғақшылық фонында төмендеп, 2024 ж. ылғалдың артуына қарай қалпына келді. Климаттық фонға тәуелсіз қайталанатын, өндірістік инфрақұрылымға іргелес орналасқан төмен NDVI аймақтары локалды техногендік стрессті көрсетеді. Аталған аумақтар табиғи кешендерді басқаруда басым мониторинг жүргізуді және рекультивациялық шараларды қажет етеді.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Деректер USGS EarthExplorer және Copernicus Open Access Hub платформаларынан алынды. Есептеулер мен картографиялау ArcGIS 10.8 ортада жүргізілді.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау- Кузбулова С.У; Деректерді басқару -Рамазанова Н.Е; Ресми талдау- Кузбулова С.У; Әдістеме- Кузбулова С.У; Бағдарламалық қамтамасыз ету -Рамазанова Н.Е; Қадағалау-Рамазанова Н.Е; Визуализация- Кузбулова С.У; Бастапқы жобаны жазу- Кузбулова С.У; Шолу жазу және редакциялау- Кузбулова С.У;

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жамалова А.Ж. Мұнай-газ өнеркәсібінің қоршаған ортаға әсері // ҚР ҰҒА Хабарлары. Сер. геология және техникалық ғылымдар. – 2018. – №6. – 45–52.
2. Сапаров А.С., Ерғалиев Ш. Экологиялық мониторингтің әдістері. – Алматы: Қазақ университеті, 2016. – 210 б.
3. Базарбаева С.Т. Батыс Қазақстандағы антропогендік ландшафттардың өзгеру ерекшеліктері // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2020. – №2(53). – 33–41.
4. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // Remote Sensing of Environment. – 1979. – 8(2). – 127–150.
5. Pettorelli N. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Unlikely to go out of fashion // International Journal of Remote Sensing. – 2013. – 34(9–10). – 3273–3294.
6. Dai A. Increasing drought under global warming in observations and models // Nature Climate Change. – 2013. – 3. – 52–58.
7. Li J. et al. Synergistic effects of climate variability and human activities on vegetation dynamics in arid Central Asia // Sci. Total Environ. – 2020. – 698. – 134203.
8. Джаналиева Г.М. Климаттық өзгерістердің аймақтық экожүйеге әсері // География және табиғатты пайдалану. – 2020. – №4. – 45–52.
9. Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.M., Tucker C.J., Stenseth N.C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change // Trends Ecol. Evol. – 2005. – 20. – 503–510.
10. Қазгидромет. Атырау облысының климаттық ерекшеліктері жөніндегі көпжылдық деректер жинағы. – Атырау: РМК «Қазгидромет», 2023.
11. Құлманова Ж.Ж., Махамбетов М.М. Атырау облысының мұнай-газ өнеркәсібінің қалыптасу тарихы. – Атырау: КИМУ баспасы, 2018. – 145 б.
12. «Ембімұнайгаз» АҚ. Жылдық есептер (2010–2023). – Атырау, 2023.
13. Құрманғалиева А. Мұнай-газ құбырларының экожүйеге әсері // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2019. – №1. – 61–66.
14. USGS. EarthExplorer: Landsat/EO деректеріне қолжеткізу платформасы. United States Geological Survey, 2024.

15. Copernicus Programme / ESA. Copernicus Open Access Hub / Copernicus Data Space Ecosystem: Sentinel деректер мұрағаты. 2024.
16. ESA. Sen2Cor User Guide. European Space Agency, 2023.
17. USGS. Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide. U.S. Geological Survey, 2023.
18. USGS. Landsat 8 (OLI/TIRS) Overview. U.S. Geological Survey, 2024.
19. Didan K. MODIS Vegetation Indices (MOD13) User Guide (Collection 6). NASA/University of Arizona, 2015.
20. Piao S., et al. Changes in vegetation activity and their driving factors in China // *Global Change Biology*. – 2015. – 21. – 1601–1609.

REFERENCES

1. Zhamalova, A. Z. (2018). Environmental impacts of the oil and gas industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, (6), 45–52.
2. Saparov, A. S., & Yergaliyev, Sh. (2016). *Methods of environmental monitoring*. Almaty: Kazakh University Press.
3. Bazarbayeva, S. T. (2020). Features of anthropogenic landscape changes in Western Kazakhstan. *Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University. Geography Series*, 2(53), 33–41.
4. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
5. Pettorelli, N. (2013). The normalized difference vegetation index (NDVI): Unlikely to go out of fashion. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9–10), 3273–3294.
6. Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3, 52–58.
7. Li, J., et al. (2020). Synergistic effects of climate variability and human activities on vegetation dynamics in arid Central Asia. *Science of the Total Environment*, 698, 134203.
8. Dzhanalieva, G. M. (2020). Impacts of climate change on regional ecosystems. *Geography and Nature Management*, (4), 45–52.
9. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 503–510.
10. Kazhydromet. (2023). Long-term climate data for the Atyrau region. Atyrau: RSE Kazhydromet.
11. Kulmanova, Zh. Zh., & Makhambetov, M. M. (2018). *History of the development of the oil and gas industry in the Atyrau region*. Atyrau: KIMU Publishing.
12. Embimunaigas JSC. (2023). *Annual reports (2010–2023)*. Atyrau.
13. Kurmagaliyeva, A. (2019). Impact of oil and gas pipelines on ecosystems. *Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University. Geography Series*, (1), 61–66.
14. U.S. Geological Survey. (2024). EarthExplorer: Platform for accessing Landsat/EO data.
15. Copernicus Programme / European Space Agency. (2024). Copernicus Open Access Hub / Copernicus Data Space Ecosystem: Sentinel data archive.
16. European Space Agency. (2023). Sen2Cor user guide.
17. U.S. Geological Survey. (2023). Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC) product guide.
18. U.S. Geological Survey. (2024). Landsat 8 (OLI/TIRS) overview.
19. Didan, K. (2015). MODIS vegetation indices (MOD13) user guide (Collection 6). NASA / University of Arizona.
20. Piao, S., et al. (2015). Changes in vegetation activity and their driving factors in China. *Global Change Biology*, 21, 1601–1609.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ МАКАТСКОГО РАЙОНА: ТЕХНОГЕННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА И КЛИМАТИЧЕСКИЙ ФОН (2000–2024 гг.).

Сактагуль У. Кузбулова , Нургуль Е. Рамазанова  PhD, и.о профессора.

¹ЕНУ им. Л. Гумилев, Астана, Казахстан; sakta_72@mail.ru (СВК), ramazanova_nye@enu.kz (НЕР)
Автор корреспонденции: Сактагуль У. Кузбулова, sakta_72@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

NDVI; техногенное загрязнение; факторы; покров; межгодовая динамика; Макатский район; климатические факторы; растительный покров; динамика;

По статье:

Получено: 16.09.2025
Пересмотрено: 19.02.2026
Принято: 31.03.2026
Опубликовано: 01.04.2026

АБСТРАКТ

Цель исследования — количественно оценить пространственно-временную динамику растительного покрова в условиях техногенной нагрузки в пределах Макатского района. NDVI, рассчитанный по спутниковым снимкам за июнь 2000, 2010, 2015, 2021 и 2024 гг., сопоставлялся с данными РГП «Казгидромет» о среднемесячной температуре и сумме осадков за июнь. Средний по району NDVI составил около 0,14 в 2000 г., снизился до $\approx 0,10$ – $0,09$ в 2010–2021 гг. и вновь вырос до $\approx 0,21$ в 2024 г. Пространственный анализ выявил устойчивые пятна низкого NDVI вблизи производственных площадок, трубопроводов и сопутствующей инфраструктуры: здесь доля низких (C1–C2) и средних классов повышена, тогда как доля высокого класса (C5) в засушливые годы (2010–2021) сокращалась до минимальных значений и, несмотря на рост в 2024 г., в ключевых индустриальных зонах оставалась сравнительно низкой. Связь NDVI с июньскими осадками положительная, а с повышенной температурой — отрицательная, что указывает на определяющую роль дефицита влаги в аридных условиях; при этом техногенная нагрузка (пылегазовые выбросы, загрязнение нефтепродуктами и солёными водами, засоление/нарушение структуры почв, факельное сжигание) усиливает локальное ослабление растительности.

Полученные результаты демонстрируют стабильно пониженный уровень NDVI в зонах техногенного влияния независимо от климатического фона и позволяют выделить наиболее уязвимые участки природных комплексов. Итогово показывается совместное влияние климатических факторов и техногенной нагрузки и подтверждается, что «июньский» стандартизованный NDVI является прикладным инструментом мониторинга состояния экосистем региона.

SPATIOTEMPORAL STATE OF VEGETATION IN THE MAKAT DISTRICT: TECHNOGENIC INFRASTRUCTURE AND CLIMATIC BACKGROUND (2000–2024)

Saktagul Kuzbulova , Nurgul Ramazanova  PhD, Acting Professor

L.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; sakta_72@mail.ru, ramazanova_nye@enu.kz

Author correspondent: Saktagul Kuzbulova, sakta_72@mail.ru

KEY WORDS

NDVI; industrial (technogenic) pollution; climatic factors; vegetation; inter-annual dynamics; Makat District.

About article:

Received: 16.09.2025

Revised: 19.02.2026

Accepted: 31.03.2026

Published: 01.04.2026

ABSTRACT

Objective — to quantitatively assess the spatio-temporal dynamics of vegetation under industrial pressure in Makat District. June NDVI was computed from satellite imagery (2000, 2010, 2015, 2021, 2024) and compared with Kazhydromet (RSE) records of June mean temperature and precipitation. The district-level mean NDVI was ~ 0.14 in 2000, declined to ≈ 0.10 – 0.09 during 2010–2021, and recovered to ≈ 0.21 in 2024. Spatial analysis revealed persistent low-NDVI patches around production sites, pipelines and associated infrastructure: these areas exhibit elevated shares of low (C1–C2) and medium classes, whereas the high-vegetation class (C5) contracted to minima in dry years (2010–2021) and, although it increased in 2024, remained comparatively low within the main industrial belts.

NDVI relates positively to June precipitation and negatively to higher temperatures, indicating water limitation as the primary driver in this arid setting; at the same time, industrial loads (dust-gas emissions, contamination by petroleum products and saline waters, soil salinization/structure degradation, flare combustion) intensify local weakening of vegetation. The results demonstrate consistently depressed NDVI in zones of technogenic influence irrespective of the climatic background and delineate vulnerable landscape units. Overall, the study highlights the combined effects of climate and industrial pressure and supports the use of a June-standardized NDVI as an applied tool for ecosystem-condition monitoring in the region.

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