Атаниязова Айсулу Саламатовнаның 8D06102 – Компьютерлік инженерия білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін «Жерді қашықтықтан зондтау деректері мен машиналық оқыту әдістері негізінде Қазақстанның оңтүстігіндегі жер қыртысының деградация дәрежесін бағалау» тақырыбындағы диссертациясына

АҢДАТПА

Өзектілігі. Қазақстанның оңтүстігі – елдің агроөнеркәсіптік әлеуетінің негізгі бөлігі шоғырланған аймақтардың бірі. Алайда соңғы онжылдықтарда суармалы егіншілік пен экстремалды климаттық жағдайлардың әсерінен топырақ жамылғысы деградацияға ұшырау үдерісі күшейіп келеді. Әсіресе тұздану, эрозия, органикалық заттардың азаюы сияқты мәселелер ауыл шаруашылығы өнімділігін төмендетіп, экожүйелік тепе-теңдікті бұзып, азық-түлік қауіпсіздігіне қауіп төндіруде. Осыған байланысты жер қыртысының деградация деңгейін жедел әрі дәл бағалау – табиғи ресурстарды тиімді басқару мен мелиорациялық шараларды жоспарлау үшін аса маңызды. Топырақ мониторингінің дәстүрлі әдістері, соның ішінде далалық зерттеулер, геоботаникалық бағалаулар және топырақ үлгілерін зертханалық талдау ғылыми тұрғыдан негізделген болып қала береді, бірақ олар көп еңбекті, уақытты және қымбатқа түседі. Сонымен қатар, олардың кеңістіктік қамтуы шектеулі, бұл деградация динамикасының кешенді аймақтық көрінісін алуды қиындатады. Оңтүстік Қазақстан сияқты үлкен және әртекті аудандарда тек жердегі бақылауларға сүйену деградация процестерін әртүрлі кеңістіктік және уақыттық масштабтарда жылдам және жүйелі түрде бақылауға мүмкіндік бермейді.

Қашықтықтан зондтау технологиялары топырақтың физикалық және химиялық қасиеттеріндегі өзгерістерді кең ауқымда және жүйелі түрде анықтауға мүмкіндік береді. Жерсеріктік мультиспектралды және радиолокациялық деректер тұздану ошақтарын, ылғалдылық динамикасын, өсімдік жамылғысының күйін жоғары дәлдікпен бақылауға жағдай жасайды. Сонымен қатар машиналық оқыту алгоритмдерінің кеңінен қолданылуы үлкен көлемдегі қашықтықтан зондтау деректерінен жасырын үлгілерді анықтап, топырақ деградациясын болжау мен картографиялауда заманауи, сенімді әдістерді қалыптастырады.

Қазақстан жағдайында дәл осы бағыттағы зерттеулердің саны шектеулі және көбінесе аймақтық деңгеймен шектелген. Сондықтан Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде қашықтықтан зондтау деректері мен машиналық оқыту әдістерін интеграциялай отырып, топырақ деградациясын сандық бағалау ғылыми және практикалық тұрғыда маңызды. Мұндай зерттеу суармалы жерлердің жағдайын жақсартып, ауыл шаруашылығының тұрақты дамуын

қамтамасыз етуге, сондай-ақ жер ресурстарын басқарудың ұлттық стратегияларын жетілдіруге үлес қосады.

Сонымен бірге, Қазақстан Республикасының Президенті 2025 жылғы Жолдауында ауыл шаруашылығы жерлерін спутниктік мониторинг пен жасанды интеллект технологиялары арқылы басқару қажеттігін атап көрсетіп, жер ресурстарының бірыңғай цифрлық картасын қалыптастыруды тапсырды. Бұл зерттеу тақырыбының мемлекеттік деңгейде де басым бағыт екенін дәлелдейді. Осыған орай, Қазақстанның оңтүстігіндегі жер қыртысы деградациясының дәрежесін қашықтықтан зондтау деректерімен қатар машиналық оқытудың озық әдістерін қолдана отырып бағалау – жер ресурстарын тиімді пайдалануды қамтамасыз етуге, деградацияның алдын алу шараларын ғылыми негізде жоспарлауға және саланың цифрлық трансформациясына үлес қосатын жоғары өзекті зерттеу болып табылады.

Зерттеу жұмысының мақсаты - далалық өлшеу нәтижелерімен қашықтықтан зондтау деректерін интеграциялау негізінде Қазақстанның оңтүстігіндегі ауыл шаруашылығы топырақтарының тұздану дәрежесін бағалау және картаға түсіру әдісін әзірлеу.

Зерттеу міндеттері:

1. Табиғи-климаттық және шаруашылық жағдайларды ескере отырып, бастапқы деректерді талдау және зерттеу аймақтарын таңдау;
2. Қашықтықтан зондтау деректерін жинау және алдын ала өңдеу: таңдалған аймақтар үшін Sentinel-1 радиолокациялық спутниктік суреттері (VH және VV поляризациялары) мен Sentinel-2 оптикалық суреттерін алу;
3. Топырақ тұзданuын бағалау үшін машиналық оқыту модельдерін әзірлеу және оқыту;
4. Модельдердің дәлдігін бағалау және тиімділігін салыстырмалы талдау;
5. Тұздану деңгейін бағалау үшін спектралдық индекстер мен машиналық оқыту нәтижелерін біріктіре отырып, геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) көмегімен уақыттық-кеңістіктік заңдылықтарын талдау нәтижесінде топырақтың тұздану карталарын құрастыру.

Зерттеу әдістері: қашықтықтан тіркелетін параметрлерді (NDSI, SI және т.б.) және жер бетілік ақпараттарды корреляциялық талдаудың стандартты статистикалық әдістері, спутниктік деректерді жіктеу және регрессия әдістері

Зерттеу пәні: қашықтықтан зондтау деректерінен алынған текстуралық белгілер мен спектрлік индекстер, топырақтың деградациясын сандық және кеңістіктік модельдеуге арналған машиналық оқыту алгоритмдері.

Зерттеу объектісі: Қазақстанның оңтүстік өңірлерінің топырақ жамылғысы және оның деградациялық процестері.

Алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы: Жердің беткі қабатының геофизикалық өлшеулері мен орта және жоғары кеңістіктік рұқсат етілген

қашықтықтан зондтау деректері негізінде топырақтың тұздану дәрежесін бағалау әдісі әзірленді.

Қорғауға ұсынылатын тұжырым: Sentinel-1 радиолокациялық, Sentinel-2 оптикалық деректері және жердегі өлшемдермен калибрленген машиналық оқыту алгоритмдері негізінде ~10 м рұқсаты бар топырақтың тұздану дәрежесін (электр өткізгіштік) сандық болжау әдісі әзірленді. Радиолокациялық, оптикалық, рельефтік және температуралық деректердің үйлесімі дәстүрлі спектрлік индекстермен салыстырғанда тұзды аймақтарды картаға түсіру дәлдігін ~15%-ға арттырды.

Зерттеудің практикалық маңызы: әзірленген әдіс ашық спутниктік деректерге сүйеніп, Қазақстанның агромелиорациялық және экологиялық мониторинг жүйелерінде тікелей қолдануға жарамды. Спутник деректерінің интеграцияланған әдісі арқылы алынған тұздану карталары ауыл шаруашылық алқаптарының мелиорациялық жай-күйін нақты бағалауға, тұзданған және деградацияланған аймақтарды уақытылы анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл суару және дренаж жүйелерін тиімді жоспарлауға, топырақ өнімділігін арттыруға және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға бағытталған шешімдер қабылдауды жеңілдетеді.

Зерттеудің ғылыми техникалық маңызы: зерттеу нәтижесінде топырақтың тұздану дәрежесін жоғары кеңістіктік дәлдікпен болжауға арналған қашықтықтан зондтау деректерін интеграциялау әдісі негізделді. Радиолокациялық (Sentinel-1) және оптикалық (Sentinel-2) деректерді рельеф пен температура параметрлерімен біріктіру тұздану процестерін кешенді бағалау мүмкіндігін арттырды. GLCM негізіндегі радиолокациялық микротекстуралық белгілердің (контраст, энтропия) ақпараттылығы дәлелденіп, олардың электр өткізгіштік көрсеткіштерімен сенімді байланысы анықталды. Сызықтық және ансамбльдік машиналық оқыту әдістерінің салыстырмалы тиімділігі зерттеліп, шектеулі деректер жағдайында қарапайым модельдердің (Ridge) де жоғары нәтиже көрсете алатыны айқындалды.

Ғылыми нәтижелердің сенімділігі:

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен жарамдылығы зерттеудің далалық өлшеулер мен тәуелсіз спутниктік деректер көздерінің үйлесіміне, сондай-ақ статистикалық қайталанатын модельді тексеру процедураларына негізделгендігімен расталады. Диссертацияда негізгі сынақ аймақтарындағы 203 топырақ үлгісін жинау сипатталған. Электр өткізгіштігі зертханада сандық өлшегішті пайдаланып стандартталған үлгі дайындау арқылы (топырақ: су қатынасы 1:5, 24 сағат бойы тұндыру) анықталды.

Әдістемелік тәсілдің жарамдылығы спутниктік деректерді өңдеу тізбегінің ашықтығымен артады: Sentinel-1 SAR деректерін пайдалану (IW режимі, GRD өнімдері), стандартты алдын ала өңдеу қадамдары (шуды жою, радиометриялық калибрлеу, жер бедерін түзету, карта проекциясына картаға түсіру) және электр өткізгіштігін, 16 GLCM текстуралық ерекшеліктерін,

температураны және жер бедерінің параметрлерін қамтитын белгілер жиынтығын жасау. Ковариаттар жиынтығын кеңейту үшін беткі температура деректері (MODIS LST) және сандық биіктік моделі пайдаланылды.

Модельдеу нәтижелерінің статистикалық сенімділігі бірнеше айқаспалы валидация процедурасымен расталады: диссертацияда әрбір регрессор үшін 80/20 бөлінуі және 200 қайталануы бар рандомизацияланған ShuffleSplit айқаспалы валидациясы қолданылды.

Біріктірілген деректер жиынтығы (барлығы үшін) Ridge үшін 0,886-ға дейінгі және LightGBM үшін 0,859-ға дейінгі R2 мәндері көрсетілген, RMSE және MAPE сәйкесінше төмендейді. Сол сияқты, жеке аудандар үшін Ridge/LightGBM жақсы мәндерді көрсетеді (мысалы, Қонаев үшін R^2 мәндері Ridge үшін 0,894-ке дейін және LightGBM үшін 0,864-ке дейін). Бұл нәтижелер шектеулі далалық бақылау базасымен ұсынылған «гетерогенді деректер + регуляризация/градиенттік күшейту» тәсілінің жарамдылығын растайды.

Түсіндіру және тексеру нәтижелері тұрғысынан диссертацияда Shapley аддитивті түсіндірмелеріне (SHAP) негізделген белгілер үлесін бағалау тәсілі бөлек ұсынылады және қолданылады, бұл «қара жәшік» модельдеу қаупін азайтады және ерекшеліктерді таңдау мен модель архитектурасының жарамдылығын жақсартады.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу бағдарламаларымен байланысы:

Диссертациялық жұмыс «Қазақстанның оңтүстігіндегі топырақтың тұздануы мен ауыл шаруашылығы алқаптарының тозуын сандық бағалауға арналған ГАЖ және ғарыштық мониторинг» – мемлекеттік тіркеу №0121РК00830, 2021–2023 жылдарға арналған бағдарлама мақсаттық қаржыландыру жобасы аясында Ақпараттық және есептеу технологиялары институтында орындалған.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен мазмұны:

Диссертация кіріспеден, үш негізгі бөлімнен, қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 104 бет, оның ішінде 43 сурет, 23 кесте, 40 формуладан тұрады. Әдебиеттер тізімі 120 атауды қамтиды.

Бірінші бөлімде топырақ тұздануын бағалау есебінде радиолокациялық және оптикалық деректерді қолдану, сондай-ақ осы деректер негізінде машиналық оқытуды қолдану бойынша отандық және шетелдік зерттеу жұмыстарына шолу жүргізіледі.

Екінші бөлімде диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижесі болып табылатын, гетерогенді деректерді пайдаланып, Қазақстанның оңтүстігіндегі суармалы алқаптардың топырақ тұздануын бағалау есебі сипатталады.

Үшінші бөлім оптикалық деректер негізінде зерттеу аймақтарындағы тұзданудың және өсімдіктің жай-күйін кеңістіктік-уақыттық заңдылықтарын талдауға арналады.

Зерттеу нәтижелері бойынша жарияланымдар.

Scopus базасында индекстелетін халықаралық басылымдар:

1. Amirgaliyev Y., Mukhamediev R., Merembayev T., Kuchin Y., Ataniyazova A. Remote sensing and machine learning algorithms to predict soil salinity in southern Kazakhstan // Discover Sustainability. – 2024. – Vol. 5. – Article 363. – DOI: 10.1007/s43621-024-00594-8.

2. Omarova P., Amirgaliyev Y., Kozbakova A., Ataniyazova A. Application of physics-informed neural networks to river silting simulation // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – Article 11983. – DOI: 10.3390/app132111983.

3. Omarova P., Yang T., Ataniyazova A., Kozbakova A., Yedilkhan D. Assessment of air quality in the urban environment taking into account vegetation and building geometry // Journal of Ecological Engineering. – 2026. – Vol. 27, No. 2. – DOI: 10.12911/22998993/211688.

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетімен ұсынылған басылымдар:

1. Амиргалиев Е., Атаниязова А., Мерембаев Т., Черикбаева Л., Касымова Д. Картирование засоленности почвы юга Казахстана на основе спутниковых изображений Sentinel-2 // Вестник КазАТК. – 2024. – Т. 132, № 3. – С. 194–205. – DOI: 10.52167/1609-1817-2024-132-3-194-205.

2. Амиргалиев Е., Амиргалиева С., Атаниязова А., Нарынов С., Бердибаев Р. Reinforcement learning как технология, позволяющая обеспечить непрерывный мониторинг обширных территорий // Вестник КазАТК. – 2024. – Т. 135, № 6. – С. 255–262. – DOI: 10.52167/1609-1817-2024-135-6-255-262.

3. Ataniyazova A., Merembayev T. Spatiotemporal assessment of soil salinity in irrigated agricultural lands of Kazakhstan using remote sensing // Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies. – 2025. – Vol. 3, No. 3. – DOI: 10.26577/jpcsit2025332.

Сондай-ақ, зерттеу жұмысының нәтижесі негізінде «Количественная оценка степени деградации почвы с помощью машинного обучения и дистанционного зондирования Земли» атты Қазақстан Республикасының авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізілімге мәліметтерді енгізу туралы 2025 жылы 4 шілдеде берілген №60555 куәлік тіркелді.