

MƏMMƏDOVA T.T., ŞADLİNSKAYA N.N., HACIYEVA M.A.

AzMIU-nun nəzdində İnşaat Kolleci Publik hüquqi şəxs

tarana.mammadova@azmiu.edu.az,
nara2025!@mail.ru, meri.qadjizade@mail.ru

SÜNİ İNTELLEKTDƏN (Sİ) İSTİFADƏ EDƏRƏK İQLİM DƏYİŞİKLİYİNƏ TƏSİR EDƏN AMİLLƏRİN ÖYRƏNİLMƏSİ

İqlim dəyişikliyi nədir və süni intelleklə necə əlaqəsi var?

Yer kürəsində orta temperaturalar və hava şəraitinin uzunmüddətli dəyişməsi “iqlim dəyişikliyi” adlanır.

Sürətlə inkişaf edən süni intellekt bütün dünya üzrə - bir çox sahələrə (səhiyyə, təhsil, sənaye, kənd təsərrüfatı, şəhərsalma və s. sistemlərinə) inteqrasiya olunur. Müasir dövrün ən aktual problemlərindən biri olan süni intellekt sistemlərinin iqlim dəyişməsinin həllində də vacib əhəmiyyəti var.

Sİ sayəsində bir çox problemlərin, o cümlədən maddi ehtiyatların idarə olunması, karbon tullantılarının azaldılmasına aid məsələlərin, bərpaolunan enerji və bir çox sahələrdə tədqiqatların həlli daha asan olacaq.

Hal-hazırda süni intellekt proqramları ən çox istifadə edilən texnologiyalardan biridir. Bu texnologiya maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə və təbii dil emalı kimi sahələri əhatə edir. Chatbotlar, səs köməkçiləri (Siri, Alexa), tövsiyə sistemləri (YouTube, Netflix) və avtomobil idarəetmə sistemləri kimi gündəlik tətbiqlərdə istifadə edilir.

Bir çox sahələrdə olduğu kimi iqlim dəyişiklikləri ilə mübarizədə də süni intellekdən istifadə (Sİ) mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Peyk və sensorlardan gələn informasiya emal olduğu zaman Sİ daha dəqiq iqlim modelləri qurur, karbon emissiyalarını azaltmaq üçün Sİ avtomatlaşdırılmış proqram sistemləri yaradır, ona görə də ekoloji hadisələrin idarə olunmasını yaxşılaşır. Beləliklə də ekoloji dayanıqlığı artırmış olur. İqlim dəyişmələri haqqındakı analiz və təhlillər Sİ-in kömə-

yi ilə daha sürətli və effektiv olur. Buradan aydın olur ki, iqlim dəyişmələrin proqnozlaşdırılmasında və baş verə biləcək fəlakətlərin müəyyən olunmasında və qarşısının alınmasında öncədən tədbirlər görmək üçün Sİ sistemlərinin tətbiqi zəruridir.

Ümumdünya Meteorologiya Təşkilatının (ÜMT) məlumatına görə böyük həcmdə məlumatlar emalı iqlim dəyişmələrinin proqnozlaşdırılmasını süni intellekdən istifadə edərək əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Bu da iqlim dəyişmələrinə təsirli adaptasiya və onun fəsadlarının yumşaldılması strategiyasını işləyib hazırlamaqda ölkələrin hakimiyyət orqanlarına imkanı verəcək.

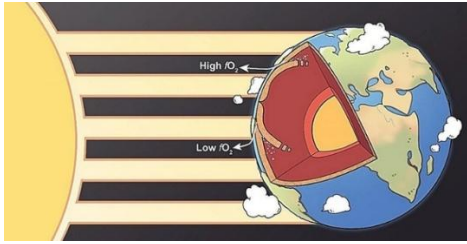
Cenevrədə 1991-ci ildə İqlim Dəyişikliyi üzrə IPCC Beşinci Sessiyasında Birinci Qiyətləndirmə Hesabatını (Avqust 1990) yeniləmək üçün aşağıdakı altı vəzifəni prioritet kimi nəzərdən keçirməsi razılaşdırıldı:

1. Xalis istixana qazı emissiyalarının qiymətləndirilməsi;
2. İqlim dəyişikliyinə bölgələr üzrə paylanmasının proqnozları, model təsdiqləmə tədqiqatları da daxil olmaqla təsirlə əlaqəli tədqiqatlar;
3. Enerji və sənaye ilə bağlı məsələlər;
4. Kənd təsərrüfatı və meşə təsərrüfatı ilə bağlı məsələlər;
5. Dəniz səviyyəsinin qalxmasına nəzarət;
6. Emissiya-tullantı ssenariləri

Gəlin əvvəlcə iqlim sisteminin təsirini araşdıraq. Yer kürəsi Günəş radiasiyasını, əsasən səthində udur (şəkil 1).

Alınan enerji daha sonra atmosfer və okeanlar tərəfindən yenidən paylanır və uzun dal-

ğalı ("termal", "yerüstü" və ya "infraqırmızı") şüalanma kimi kosmosa geri yayılır. Bu istilik şüalanmasının bir hissəsi atmosferdə əsasən hidrogen buxarı, eləcə də karbon qazı, metan, xrom flüorid flüoridləri, ozon və digər istixana qazları kimi radiasiya aktiv ("istixana") qazlar tərəfindən udulub. Udulmuş enerji bütün istiqamətlərdə, həm aşağı, həm də yuxarı doğru yenidən şüalanır, buna görə də kosmosa itirilən şüalanma atmosferin daha yüksək, daha soyuq təbəqələrindən qaynaqlanır (di-aqramma baxın). Nəticədə, istixana qazlarının olmaması halında baş verə biləcəkdən daha az istilik səthdən kosmosa çıxır və beləliklə, səth daha isti qalır. Yer kürəsinin ətrafına bükülmüş "örtük" effekti ilə müqayisə edilə bilən bu fenomen "istixana effekti" kimi tanınır.



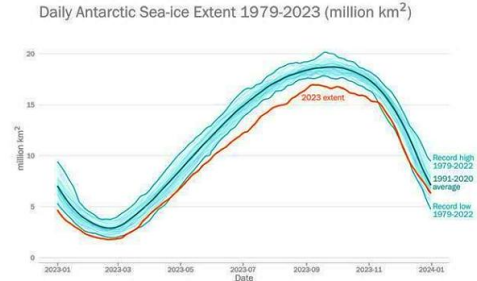
Şəkil 1.

İstilmənin dərəcəsi hər bir istixana qazının artım sürətindən, iştirak edən qazların radiasiya xüsusiyyətlərindən və atmosferdə artıq mövcud olan digər istixana qazlarının konsentrasiyalarından asılıdır. Bu, həmçinin yerli amillərdən, məsələn, hündürlüklə istixana qazı konsentrasiyasının dəyişməsindən asılı ola bilər ki, bu da xüsusilə atmosferdə qeyri-bərabər paylanmış su buxarı üçün doğru ola bilər. Bu fenomen mürəkkəbdir və onun təsir etdiyi bu amillərin balansı iqlim sisteminin bir çox aspektindən asılıdır. İqlim dəyişmələrinin fəsadları əsasən buzlaqların əriməsinə ciddi şəkildə təzahür edir.

Yanvar-dekabr ayları arasında Antarktika dəniz buzunun gündəlik sahəsi qrafikdə qeyd edilir. 1991-2020-ci illərin iqlim norması (tünd mavi) ilə müqayisədə 2023-cü il şərtləri (qırmızı), hər gün üçün rekord yüksək və aşağı göstəricilər (tünd mavi) göstərilir. Fərdi illər açıq mavi rəngdə göstərilir.

Arktika dəniz buzunun sahəsi normadan xeyli aşağı qalıb, illik maksimum və mini-

mum dəniz buzunun sahəsi müvafiq olaraq qeydə alınan beşinci və altıncı ən aşağı göstəricilər olub.



Şəkil 2.

Vulkanlardan yayılan aerosollar (kiçik hissəciklər) və sənaye zavodlarından və digər mənbələrdən atmosfərə yayılan sulfatlar da radiasiyanı udur və əks etdirə bilər. Bundan əlavə, aerosol konsentrasiyalarındakı dəyişikliklər bulud əks etdiriciliyini dəyişdirə bilər, çünki onlar bulud örtüyünə təsir göstərir. Bir çox hallarda aerosollar iqlimi soyutmağa meyillidir. Ümumiyyətlə, aerosolların ömrü istixana qazlarından daha qısadır və buna görə də onların konsentrasiyaları emissiyalardakı dəyişikliklərə daha tez reaksiya verir.

Bəs iqlimi hansı amillər dəyişə bilər? Günəşdən gələn və ya kosmosa yayılan radiasiyanı dəyişdirən və ya atmosfer daxilində və atmosfer, quru və okean arasında enerjinin yenidən bölüşdürülməsini dəyişdirən hər hansı bir amil iqlimə təsir göstərir.

Günəşin ümumi enerji çıxışının on bir illik dövrlərdə cüzi dəyişikliklərə məruz qaldığı məlumdur; üstəlik, dalğalanmalar daha uzun müddət ərzində baş verə bilər.

Bu problemi on ildən min ilə qədər dəyişən zaman miqyasında nəzərdən keçirdikdə, Yer kürəsinin orbitindəki yavaş dəyişikliklərin Günəş radiasiyasının dünyəvi və enlik paylanmasıda dəyişikliklərə səbəb olduğunu və bu dəyişikliklərin keçmişdə iqlim dalğalanmalarında əhəmiyyətli rol oynadığını görmək olar.

İstixana qazlarının və aerosolların artması nəticəsində yaranan iqlim dəyişikliyi proqnozlaşdırmaq üçün zəruri başlanğıc nöqtəsi onların gələcək konsentrasiyalarının qiymətləndirilməsidir. Bu qiymətləndirmə həm mənbələrinin (təbii və insan tərəfindən törə-

dilən) miqyası, həm də atmosferdən sonda çıxarılan mexanizmləri (udmaları) haqqında məlumat tələb edir.

Gələcək konsentrasiyaların proqnozlaşdırılan qiymətləndirmələri daha sonra iqlim modellərində iqlim reaksiyasını hesablamaq üçün istifadə edilə bilər. Həmçinin proqnozlaşdırılan dəyişikliklərin təbii iqlim dəyişiklikləri fonunda nəzərə çarpacaq olub-olmayacağı müəyyən etməliyik. Nəhayət, iqlimi izləmək, iqlim proseslərini öyrənmək və modellərin hazırlanmasını və təsdiqlənməsini asanlaşdırmaq üçün praktik müşahidələr aparmaq vacib sayılırdı.

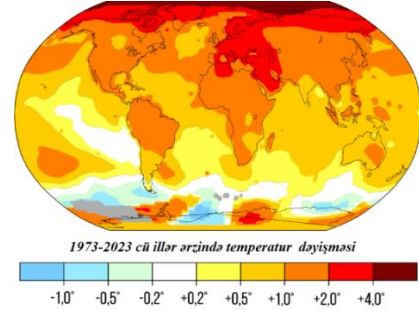
Qlobal İstiləşmə Potensiallarında ciddi maraq doğurmalıdır: Qazlar həm birbaşa, həm də dolayı yolla radiasiya təsirinə səbəb ola bilər: birbaşa təsir qazın özü istixana qazı olduqda baş verir; dolayı təsir isə orijinal qazın kimyəvi çevrilmələri özləri istixana qazı olan bir qaz və ya qazların əmələ gəlməsi ilə nəticələndikdə baş verir. Qlobal istiləşmə potensialı (QİP) konsepsiyası qərar qəbul edənlər üçün hər bir qazın emissiyaları nəticəsində (CO₂-yə nisbətən) səth-troposfer sistemə potensial istiləşmə təsirinin göstəricisi kimi hazırlanmışdır. İndekslər müasir atmosfer üçün hesablanır və atmosfer kimyəvi tərkibində mümkün dəyişikliklər nəzərə alınır. CO₂-dən qaynaqlanan radiasiya təsirindəki dəyişikliklər (kq ilə) atmosfer CO₂ konsentrasiyalarındakı dəyişikliklərlə qeyri-xətti əlaqəlidir. Nəticə etibarilə, CO səviyyələri mövcud dəyərlərlə müqayisədə artdıqca, CO₂ olmayan qazların QİP-si burada verilən təxminlərdən daha yüksək olacaq. Bu konsepsiyayı daha effektiv istifadə etmək üçün QİP-nin həm birbaşa, həm də dolayı komponentlərinin hesablamaları zəruridir.

Qlobal iqlim dəyişikliyi XXI əsrin ən aktual məsələlərindən biri olaraq qalır. Artan temperatur, ekstremal hava hadisələri və pisləşən ekosistemlər dəqiq təhlil və proqnozlaşdırma tələb edir (şəkil 2).

Fiziki tənliklərə və statistikaya əsaslanan ənənəvi iqlim modelləşdirmə metodları məlumat həcmi və hesablama resursları ilə məhdudlaşır.

Bu baxımdan süni intellekt (Sİ) iqlim

proseslərini və onların dinamikasına təsir edən amilləri öyrənmək üçün əsas vasitəyə çevrilir.



Şəkil 3.

Böyük məlumatların iqlimşünaslıq rolu müasir dövrümüzdə danılmaz bir amildir. Müasir iqlim elmi çoxlu sayda müxtəlif məlumatlara əsaslanır:

- atmosferin və Yer səthinin peyk şəkilləri;
- istixana qazı konsentrasiyasının ölçülməsi;
- meteoroloji müşahidələr;
- okean məlumatları;
- emissiyalarla bağlı iqtisadi və sosial göstəricilər.

Bu növ məlumat dəstlərinin əl ilə və ya klassik alqoritmlərdən istifadə edərək işlənməsi faktiki olaraq qeyri-mümkün hala gəlir. Amma süni intellekt gizli nümunələri müəyyən etməyə, tendensiyaları aşkar etməyə və yüksək dəqiq proqnozlar verməyə imkan verir.

İqlim dəyişikliyi analizinə süni intellekt yanaşmalarının bir neçə üsul aiddir:

1. Maşın (kompyüter) Öyrənmə.

Maşın Öyrənməsi (ML) iqlim dəyişkənləri arasında mürəkkəb, qeyri-xətti əlaqələri təhlil etmək üçün istifadə olunur. Məsələn:

- uzunmüddətli zaman seriyalarına əsaslanaraq temperatur və yağıntının proqnozlaşdırılması;
- antropogen emissiyaların artan CO₂ konsentrasiyalarına təsirinin təhlili;
- okean cərəyanlarındakı dəyişikliklərlə ekstremal hava hadisələri arasındakı əlaqələrin müəyyən edilməsi.

Təsadüfi meşələr, qradiyent gücləndirilməsi və neyron şəbəkələri kimi ML metodları səs-küylü və natamam məlumatlarla effektiv şəkildə işləyir.

2. Dərin Öyrənmə. Dərin neyron şəbəkələri, xüsusilə şəkillər və məkan məlumatları ilə işləyərkən faydalıdır.

Konvolyusiya neyron şəbəkələri (CNN) peyk görüntülərini təhlil etmək, buzlaqların əriməsini, meşələrin qırılmasını izləmək və dəniz səviyyəsi xəritələrini yaymaq üçün istifadə olunur. Konvolyusiya neyron şəbəkələri (CNN – Convolutional Neural Networks) ekosistem dəyişmələrinin öyrənilməsi və monitorinqində son illərdə çox mühüm rol oynayır. CNN-lər xüsusilə - şəkil və məkan məlumatlarının analizi üçün uyğun olduğuna görə ekologiya və ətraf mühit elmlərində geniş tətbiq olunur və rolu aşağıdakı əsas istiqamətlər üzrə izah edilir:

Ekosistem dəyişmələrinin izlənməsi (Remote sensing) CNN-lər peyk (satellite) və dron görüntülərini analiz edərək zamanla baş verən (meşələrin qırılmasını (deforestation), şəhərləşməni, buzlaqların əriməsini, sahil xəttinin dəyişməsini, bitki örtüyünün azalmasını, artmasını və s. dəyişiklikləri aşkar edir.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Normallaşdırılmış Fərq Bitki Örtüyü İndeksi və ya Normallaşdırılmış Fərq Vegetasiya İndeksi) analizi ilə birlikdə klassik metodlardan fərqli olaraq CNN-lər, insan tərəfindən manual müəyyən edilə bilməyən nümunələri də tanıya bilir.

Biomüxtəlifliyin monitorinqi zamanı - CNN-lər kamera tələləri (camera traps) və akustik sensorlardan qəbul edilən, heyvan növlərinin avtomatik tanınması, quş və həşərat səslərinin təsnifatı və populyasiya sıxlığının qiymətləndirilməsi kimi informasiyaları analiz edir. Bu da, nəslə kəsilməkdə olan və nadir növlərin qorunmasında çox vacibdir.

İqlim dəyişmələrinin təsirinin qiymətləndirilməsində CNN-lər temperatur artımının torpaq və bitki örtüyünə təsiri, yağıntı rejimindəki dəyişiklikləri və meşə yangınlarının öncədən aşkarlanması və risk xəritələri hazırlanması kimi təsirlərin modelləşdirilməsində istifadə olunur. Buradan aydın olur ki, CNN-lər böyük həcmli iqlim məlumatlarını sürətlə emal edə bilir.

Torpaq və su ekosistemləri üçün CNN-lər su hövzələrində çirklənmənin aşkarlan-

masında (algal blooms), torpaq eroziyası və deqradasiyasının müəyyən edilməsində, kənd təsərrüfatında torpaq sağlamlığının monitorinqində də tətbiq edirlər.

Qeyd olunanlar, torpaq sürüşmələrinin və eroziyasının, eləcə də təbii və süni su hövzələrinin mühafizəsi və inteqrasiyalı istifadəsi üçün vacibdir.

Ekosistem analizində CNN-lərin əsas üstünlükləri və müsbət cəhətləri bunlardır:

- avtomatik xüsusiyət çıxarışı (feature extraction);
- böyük və çoxölçülü statistik məlumatlarla işləmə;
- yüksək dəqiqlik və miqyaslanma;
- zaman üzrə dəyişikliklərin izlənməsi (CNN + RNN / LSTM), proqnozlaşdırma.

Qeyd edilənlərlə yanaşı CNN-lərin bəzi məhdudiyyətləri və çətinlikləri də mövcuddur:

- etiketlenmiş (labelled) ekoloji məlumatların azlığı;
- modellərin “qara qutu” olması (izah edilə bilmə problemi);
- hesablama resurslarına və statistik məlumatlara yüksək tələbat;
- regionlar üzrə modelin zəif ümumiləşməsi.

CNN-lərin gələcək perspektivlərinə CNN + GIS inteqrasiyasını, Explainable AI (XAI) ilə daha şəffaf modellərini, real-time peyk məlumatlarının analizini, regionların dayanıqlı inkişafı və milli və beynəlxalq ekoloji siyasətin dəstəklənməsini misal göstərmək olar:

Dərin öyrənmədə - təkrarlanan şəbəkələr (LSTM – uzun qısamüddətli yaddaş, GRU-qapılı təkrarlanan vahidlər) uzunmüddətli iqlim proqnozları və zaman təhlili üçün istifadə olunur. GAN (Generative Adversarial Networks) - Generativ Rəqib Şəbəkələri modelləri gələcək iqlim ssenarilərinin yaradılmasına və itmiş məlumatların bərpasına kömək edir. Generative Adversarial Networks (GAN) - 2014-cü ildə Yan Qudfellou tərəfindən təklif edilən, bir-birinə rəqib olan iki neyron şəbəkəsindən ibarət maşın öyrənməsi modelidir. GAN texnologiya və süni intellekt ekosisteminə həm məhsuldarlıq, həm də innovasiya

mühərriki rolunu oynayır. 2026-cı il etibarilə bu modellərin ekosistemdə bir neçə əsas rolları mövcuddur. GAN ekosistemi həm yeni məlumatlar istehsal edən, həm də mövcud sistemlərin sərhədlərini sınağa çəkən bir "təkamül mexanizmi" kimi çıxış edir.

Süni intellektin tədricən qlobal iqlim modellərinə (QİM) inteqrasiyası zamanı aşağıdakılar baş verir:

- hesablamaları sürətləndirir;
- detalları artırır (miqyası azaldır), məkan qətnaməsini yaxşılaşdırır;
- simulyasiyalar zamanı hesablama yükünü azaldır.

Süni intellektlə sürətləndirilmiş modellər daha çox ssenarinin daha az vaxtda işlədilməsinə imkan verir ki, bu da risklərin qiymətləndirilməsi üçün vacibdir.

İqlim dəyişikliyinə əsas səbəbləri və Süni İntellektin bu dəyişmələri öyrənilməsi töhfəsinə aşağıda sadalananlar aiddir:

I. İstixana Qazları. Süni intellekt aşağıdakılara kömək edir:

- peyk məlumatlarından istifadə edərək CO₂ və CH₄ emissiyalarını izləmək;
- qtsadi fəaliyyətin onların artımına təsirini təhlil etmək;
- atmosfer konsentrasiyasının dinamikasını proqnozlaşdırmaq.

II. Torpaq istifadəsində dəyişiklik. Süni intellekt aşağıdakıları təhlil etmək üçün istifadə olunur:

- meşələrin qırılması sürəti;
- torpaq degradasiyası;
- şəhərlərin genişlənməsi.

Bu amillər Yer kürəsinin karbon balansına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

III. Okeanların vəziyyəti. Modellər aşağıdakıları təhliləri aparmağa imkan verir:

- temperatur və turşuluqdakı dəyişiklikləri proqnozlaşdırmağa;
- əriyən buzların dəniz səviyyəsinə təsirini qiymətləndirməyə;
- global dövrən proseslərini təhlil etməyə.

IV. Ekstremal hidrometeoroloji hadisələr. Süni intellekt qasırğaların, daşqınların, quraqlığın, və istilik dalğalarının proqnozlarının dəqiqliyini artırır. Modellər təhlükəli hadisələrin inkişafının erkən əlamətlərini tanıyır və xəbər-

darlıq sistemlərini dəstəkləyir. Süni intellektin istifadəsinin üstünlüklərinə aşağıda sadalananlar aiddir:

- Mürəkkəb qeyri-xətti əlaqələrlə belə yüksək dəqiqlikli təhlil.
- Ənənəvi metodlarla təhlil etmək mümkün olmayan böyük məlumat dəstlərinin emalı.
- Modelləşdirmə sürəti, sürətli proqnozlara imkan verir. Əvvəllər diqqətdən kənar qala biləcək yeni amilləri avtomatik olaraq aşkar etmək bacarığı.

Sİ-in müsbət cəhətləri ilə yanaşı aşağıda qeyd edilən məhdudiyətləri və çətinlikləri də var:

- məlumatların keyfiyyətindən asılılıq;
- "qara qutu" riski – modellərin qeyri-kafi interpretasiyası;
- geniş hesablama resurslarına tələbat;
- süni intellektin mövcud iqlim modellərinə inteqrasiyasında çətinlik.

Yekun nəticə kimi qeyd edə bilərik ki, süni intellekt iqlim dəyişikliyi tədqiqatlarında əsas vasitəyə çevrilir. Onun tətbiqi iqlim proqnozlarını təkmilləşdirməyə, iqlim sistemə təsir edən amilləri daha dərinləndirənə anlamağa və ətraf mühit siyasətinin daha effektiv olmasına imkan verir. Artan iqlim riskləri fonunda süni intellektin rolu yalnız artacaq və bəşəriyyətin davamlı inkişafı üçün daha məlumatlı qərar qəbul etməyə kömək edəcək.

NƏTİCƏ

Nəticə olaraq demək olar ki, süni intellekt (Sİ) sistemləri iqlim dəyişikliyinə öyrənilməsində, proqnozlaşdırılmasında və təsirlərinin azaldılmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Sİ alqoritmləri böyük həcmli statistik məlumatların emalını tezləşdirir, istixana qazlarının emissiyalarını həcmi daha dəqiq izləməyə, təbii fəlakətlərin proqnozlaşdırılmasına, ekosistemə daxil olan fauna, flora, hidrosferdə, litosferdə və ümumilikdə ətraf mühit dəyişikliklərinin monitorinqinə və dayanıqlı inkişaf siyasətinin bu dəyişkənliklərə uyğun şəkildə qurulmasına mühit yaradır. Maşın və dərin öyrənmə texnologiyaları, CNN, LSTM, GRU və GAN kimi neyron şəbəkələri vasitəsilə iqlim dəyişmələri pro-

seslərinin dinamikası və onu yaratdığı fəsadlar daha dəqiq modelləşdirilir. Bu isə iqlim dəyişiklikləri ilə bağlı risklərin qiymətləndirilməsini, proqnozların verilməsini və qabaqlayıcı tədbirlərin görülməsini asanlaşdırır.

Lakin bu texnologiyalarının tətbiqi zamanı bəzi problemlər də mövcuddur. Məlumatların keyfiyyəti, hesablama və təhlil resurslarına yüksək tələbat, modellərin interpretasiya çətinliyi (“qara qutu” problemi) və enerji–su sərfiyyəti və s. Məsələn, Sİ sistemlərinin işləməsi üçün tələb olunan enerji və su ehtiyatları da ətraf mühitə mənfi təsir göstərə bilər.

Yekun olaraq qeyd edə bilərik ki, süni intellekt iqlim dəyişikliyinə qarşı mübarizədə həm mühüm imkanlar təqdim edir, həm də məsuliyyətli istifadə tələb edir. Sİ köməyi ilə baş verə biləcək təbiət hadisələrinin vaxtında qarşısının alınması dəyərli biləcək zərərin təsirlərini minimuma endirə bilər. Gələcəkdə Sİ əsaslı modellərin inkişafı, “izah edilə bilən süni intellekt” (Explainable AI) və ekoloji cəhətdən səmərəli texnologiyaların tətbiqi iqlim elminə və qlobal dayanıqlılığa yeni perspektivlər vəd edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Алеся Жук. Воздействие искусственного интеллекта на окружающую среду: скрытые экологические издержки и этико-правовые вопросы. *Journal of Digital Technologies and Law*, 2023, 1(4), 932–954.
2. Соловьев, Д.И. Биоинформатика и экология: взгляд через ИИ / Д.И. Соловьев. — М.: РХД, 2021. 5. Кузнецова, И.М. Актуальные технологии машинного обучения в экологии / И. М. Кузнецова. — М.: Научный мир, 2023.
3. Смирнова, Т.В. Экологический мониторинг с использованием ИИ / Т. В. Смирнова. — М.: ГЕО, 2022.
4. Воронова, Н. А. Применение искусственного интеллекта в экологии / Н. А. Воронова. — СПб.: Наука, 2021.
5. Бендер, П. М. Искусственный интеллект в управлении природными ресурсами / П. М. Бендер, А. С. Костенко. — Лондон: Springer, 2020.

6. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие. В 2-х частях. / С. Н. Павлов. — Томск: Эль Контент, 2011. — Ч. 1. — 176 с.

Сүни интеллекtdən (Sİ) istifadə edərək iqlim dəyişikliyinə təsir edən amillərin öyrənilməsi

XÜLASƏ

Süni intellekt (Sİ) iqlim proseslərini və onların dinamikasına təsir edən amillərin öyrənilməsi və tətbiqi əsas vasitə hesab edilir. Məqalədə süni intellektdən (Sİ) istifadə edərək iqlim dəyişikliyinə təsir edən amillərin öyrənilməsi məsələlərinə baxılmışdır. O, cümlədən Yer kürəsində Günəş radiasiyasının təsirindən yaranan istiləşmə dərəcəsi, onları yadaran səbəblər, qlobal istiləşmə, qlobal iqlim dəyişikliyinə səbəbləri araşdırılıb.

İqlim dəyişikliyinə təsir edən amillərin öyrənilməsində fiziki amillər və statistikaya əsaslanan ənənəvi iqlim modelləşdirmə metodları təhlil edilmişdir.

İqlim dəyişmələrinə təsir edən amillərin süni intellekt sistem və alətləri vasitəsilə qeydə alınması və dəyişikliklərə daha tez reaksiya verməsi qeyd edilmişdir. İqlim dəyişikliyi analizinə məşin öyrənmə və dərin öyrənmə kimi süni intellekt yanaşmaları, konvolyusiya neyron şəbəkələri (CNN), təkrarlanan şəbəkələr (LSTM, GRU), GAN (Generative Adversarial Networks) - Generativ Rəqib Şəbəkələri modellərinin əhəmiyyəti izah edilmişdir.

Açar sözlər: *süni intellekt, CNN, LSTM, GRU, GAN, GIS, iqlim dəyişməsi, istixana qazları.*

Studying factors affecting climate change using artificial intelligence (AI)

SUMMARY

Artificial intelligence (AI) is considered the main tool for studying and applying factors affecting climate processes and their dyna-

mics. The article examines the issues of studying factors affecting climate change using artificial intelligence (AI). It examines, among other things, the degree of warming caused by the influence of solar radiation on the Earth, the causes of them, global warming, and the causes of global climate change. In the study of factors affecting climate change, traditional climate modeling methods based on physical factors and statistics were analyzed.

It was noted that factors affecting climate change can be recorded through artificial intelligence systems and tools and that they can respond to changes more quickly. The importance of artificial intelligence approaches such as machine learning and deep learning, convolutional neural networks (CNN), recurrent networks (LSTM, GRU), and GAN (Generative Adversarial Networks) models in climate change analysis was explained.

Keywords: *artificial intelligence, CNN, LSTM, GRU, GAN, GIS, climate change, greenhouse gases.*

Изучение факторов, влияющих на изменение климата с использованием искусственного интеллекта (ИИ)

РЕЗЮМЕ

Искусственный интеллект (ИИ) считается основным инструментом для изучения и применения факторов, влияющих на

климатические процессы и их динамику. В статье рассматриваются вопросы изучения факторов, влияющих на изменение климата, с использованием искусственного интеллекта (ИИ). Рассматривается, среди прочего, степень потепления, вызванного влиянием солнечной радиации на Землю, причины этого потепления, глобальное потепление и причины глобального изменения климата.

В исследовании факторов, влияющих на изменение климата, был проведен анализ традиционных методов климатического моделирования, основанных на физических факторах и статистике.

Было отмечено, что факторы, влияющие на изменение климата, могут быть зафиксированы с помощью систем и инструментов искусственного интеллекта и что они могут реагировать на изменения быстрее. Была объяснена важность подходов искусственного интеллекта, таких как машинное обучение и глубокое обучение, сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные сети (LSTM, GRU) и модели GAN (генеративно-сопоставительные сети) в анализе изменения климата.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, CNN, LSTM, GRU, GAN, GIS, изменение климата, парниковые газы.*

Məqaləyə AzMIU-nun rektorunun müşaviri, süni intellekt və texnologiya sahəsi üzrə mütəxəssis S.Ş.Talıbzadə rəy vermişdir.

Redaksiyaya daxil olma/Received 16.12.2025
Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 10.01.2026