QANDLI DIABETNING AHOLI ORASIDA HUDUDIY TARQALISHINI GEOGRAFIK AXBOROT TIZIMI (GIS) VA MATEMATIK MODELLASHTIRISH ASOSIDA PROGNOZLASH

Q.Q.G`aniyev[1]

1. Osiyo Xalqaro Universiteti matematika o`qituvchisi

Mas'ul muallif: G`aniyev Qodirjon Qahramon o`g`li, Osiyo Xalqaro Universiteti matematika o`qituvchisi.

Received: 05 Noyabr 2026
Accepted: 10 Noyabr 2026
Published: 15 Noyabr 2026

Copyright: © 2026 by the author(s). Licensee Buxoro xalqaro universiteti ilmiy axborotnomasi.

Iqtibos uchun: G`aniyev, Q. Q. QANDLI DIABETNING AHOLI ORASIDA HUDUDIY TARQALISHINI GEOGRAFIK AXBOROT TIZIMI (GIS) VA MATEMATIK MODELLASHTIRISH ASOSIDA PROGNOZLASH / Q. Q. G`aniyev // Buxoro xalqaro universiteti ilmiy axborotnomasi. — 2026. — T. 11, № 1. — B. 460–462.

Annotatsiya. Mazkur maqolada qandli diabet, xususan 2-tur diabetning aholi orasida hududiy tarqalishini matematik modellashtirish, geoinformatsion tizimlar va mashinaviy o‘qitish usullari asosida prognozlash masalasi ko‘rib chiqiladi. Tadqiqotning asosiy g‘oyasi kasallikni yuqumli kasallik kabi “yuqish” modeli bilan emas, balki xavf omillari, aniqlangan yangi holatlar, skrining qamrovi, davolashga kirish va asoratlar dinamikasi bilan izohlovchi ko‘p bosqichli model orqali baholashdan iborat. Ishda aholini xavf ostidagi, aniqlanmagan, aniqlangan va asoratli guruhlarga ajratish, hududiy ko‘rsatkichlarni geografik axborot tizimi (GIS) xaritalarida ifodalash hamda prognoz natijalarini mashinaviy o‘qitish modeli bilan taqqoslash taklif etiladi. Mahalliy ma’lumotlar mavjud bo‘lmagan sharoitda maqoladagi model konseptual-metodik asos sifatida berilgan; amaliy kalibrlash faqat tibbiy-statistik va etik jihatdan ruxsat etilgan ma’lumotlar asosida bajarilishi lozim.

Kalit so'zlar: qandli diabet, 2-tur diabet, matematik model, geografik axborot tizimi (GIS), hududiy tahlil, sun’iy intellekt, mashinaviy o‘qitish, epidemiologik prognoz, skrining.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕРРИТЕРИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ САХАРНОГО ДИАБЕТА СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается прогнозирование территориального распространения сахарного диабета, прежде всего диабета 2-го типа, с применением математического моделирования, геоинформационных систем и методов машинного обучения. Предлагается многосекторная модель, учитывающая группы населения с риском, недиагностированные и диагностированные случаи, а также осложнения. В отличие от моделей инфекционных заболеваний, коэффициент перехода в модель связывается с ожирением, низкой физической активностью, возрастом, наследственной предрасположенностью, доступностью скрининга и лечения. геоинформационная система (ГИС) используется для визуализации пространственных различий и выделения зон повышенного риска. При отсутствии локальной базы данных предложенная схема имеет методологический характер, а ее калибровка должна выполняться на обезличенных данных с соблюдением этических требований.

Ключевые слова: сахарный диабет, диабет 2-го типа, математическое моделирование, ГИС, пространственный анализ, машинное обучение, прогнозирование.

PREDICTING THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF DIABETES MELLITUS AMONG THE POPULATION USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND MATHEMATICAL MODELING

Abstract. This article addresses the forecasting of the spatial distribution of diabetes mellitus, particularly type 2 diabetes, using mathematical modelling, geographic information systems and machine-learning methods. A multi-compartment model is proposed to distinguish people at risk, undiagnosed cases, diagnosed cases and patients with complications. Unlike infectious-disease models, the transition rate is linked to obesity, physical inactivity, age, family history, screening coverage and access to treatment. geographic information system (GIS) is used to visualize spatial variation and identify high-risk areas, while machine-learning models are considered as a complementary predictive layer. Since no local patient-level dataset is assumed, the framework is methodological and should be calibrated only with anonymized, ethically approved health and demographic data.

Keywords: diabetes mellitus, type 2 diabetes, mathematical modelling, GIS, spatial analysis, machine learning, epidemiological forecasting.

Kirish. Bugungi kunda qandli diabet dunyo miqyosida keng tarqalib borayotgan, aholi salomatligi va sog‘liqni saqlash tizimi oldida jiddiy muammolarni yuzaga keltirayotgan surunkali noinfeksion kasalliklardan biri hisoblanadi. Kasallikning tobora

ko‘payib borishi, uning turli yosh guruhlari va hududlar kesimida notekis taqsimlanishi, shuningdek, ijtimoiy-iqtisodiy va ekologik omillar bilan o‘zaro bog‘liqligi ushbu kasallikni hududiy jihatdan chuqur o‘rganish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Qandli diabet nafaqat insonning hayot sifati va mehnat faoliyatiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi, balki uning asoratlarini davolash va profilaktika qilish uchun sog‘liqni saqlash tizimidan katta tashkiliy hamda iqtisodiy resurslarni talab etadi.

Jahon sog‘liqni saqlash tizimida qandli diabetning oldini olish, kasallanish ko‘rsatkichlarini muntazam monitoring qilish va xavf guruhlarini erta aniqlash ustuvor yo‘nalishlardan biri sifatida qaralmoqda. Kasallikning tarqalish darajasi barcha hududlarda bir xil emas. Aholining yosh tarkibi, urbanizatsiya darajasi, turmush tarzi, ovqatlanish madaniyati, jismoniy faollik, semizlik, irsiy moyillik hamda tibbiy xizmatlardan foydalanish imkoniyatlari diabetning hududiy xususiyatlarini belgilovchi muhim omillar sirasiga kiradi. Shu sababli kasallikni faqat umumiy statistik ko‘rsatkichlar asosida emas, balki geografik va hududiy omillar bilan bog‘liq holda o‘rganish ilmiy-amaliy jihatdan alohida ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston sharoitida ham qandli diabetning tarqalishini hududlar kesimida o‘rganish, kasallanish dinamikasini aniqlash va kelajakdagi epidemiologik vaziyatni prognozlash dolzarb masalalardan biridir. Respublikaning turli hududlari tabiiy-geografik sharoiti, aholi zichligi, urbanizatsiya jarayonlari, ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanish darajasi va tibbiy infratuzilmasi bilan bir-biridan farq qiladi.

Qandli diabet surunkali metabolik kasallik bo‘lib, insulin ishlab chiqarilishi yoki undan foydalanish jarayonidagi buzilishlar natijasida qonda glyukoza miqdorining oshishi bilan tavsiflanadi. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti ma’lumotiga ko‘ra, dunyoda diabet bilan yashayotganlar soni 1990-yildagi 200 milliondan 2022-yilda 830 milliongacha oshgan, 18 yoshdan katta aholida tarqalish 7 foizdan 14 foizgacha ko‘tarilgan. Bu ko‘rsatkichlar kasallikni faqat klinik muammo sifatida emas, balki hududiy rejalashtirish, profilaktika va sog‘liqni saqlash resurslarini taqsimlash masalasi sifatida ham o‘rganishni talab etadi.

Tadqiqotning maqsadi - qandli diabetning hududiy tarqalishini baholash va 3–5 yillik prognozini ishlab chiqishga xizmat qiladigan matematik-GIS modelning metodik asoslarini taklif etish. Tadqiqot obyekti - hududlar kesimida 2-tur diabet bilan bog‘liq epidemiologik ko‘rsatkichlar; tadqiqot predmeti - xavf omillari, skrining va tibbiy xizmat ko‘rsatkichlarining kasallik dinamikasiga ta’siri.

Ilmiy muammo va adabiyotlar tahlili. Xalqaro tadqiqotlarda diabetning hududiy farqlanishi ko‘pincha semirish va jismoniy faollik ko‘rsatkichlari bilan birga tahlil qilinadi. Avstraliyaning 232 064 ishtirokchisini qamrab olgan tadqiqotida 2-tur diabetning 10 yillik insidensiyasi hududlar bo‘yicha sezilarli farq qilgani, yuqori ko‘rsatkichlar semirish va jismoniy faollikning pastligi bilan bog‘liqligi ko‘rsatilgan [2]. Ushbu natija geografik makondagi farqlarni oddiy jadvaldan ko‘ra xarita va fazoviy statistik usullar orqali o‘rganish zarurligini ko‘rsatadi.

Matematik modellashtirish bo‘yicha ishlar diabetni “sog‘lom - diabetli - asoratli” yoki unga yaqin bo‘lgan kompartamentlarga ajratishni taklif qiladi. Bir qancha tadqiqotchilar diabet asoratlari modelini sonli usullar, barqarorlik va parametrik tahlil orqali o‘rgangan . Diabet populyatsiyasi uchun oddiy differensial tenglamalarga asoslangan modellar sharhida esa profilaktika, tashxis, davolash va asoratlar bosqichlarini alohida kiritish modelning amaliy qiymatini oshirishi ta’kidlangan.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot uchun hududlar bo‘yicha yillik diabet holatlari, aholi soni va yosh tarkibi, skrining qamrovi, semirish ulushi, jismoniy faollik, birlamchi tibbiy yordam muassasalarigacha masofa, ijtimoiy-iqtisodiy indeks va asoratlar haqidagi agregat ma’lumotlar shakllantiriladi. Bemorning shaxsini aniqlash imkonini beruvchi ma’lumotlar tadqiqot bazasiga kiritilmaydi. Ma’lumotlar bir xil vaqt oralig‘iga keltiriladi, yetishmayotgan qiymatlar alohida belgilanadi va hududlar bo‘yicha yosh-jins standartlashtirish amalga oshiriladi.

GIS bosqichida har bir hudud uchun diabet prevalensiyasi $P_i=D_i/N_i\times100$, yangi holatlar insidensiyasi $I_i=New_i/N_i\times100\,000$ ko‘rinishida hisoblanadi. Bu yerda D_i - hududdagi aniqlangan diabet holatlari, New_i - yil davomida qayd etilgan yangi holatlar, N_i - tegishli aholi soni. Ko‘rsatkichlar choropleth xaritalarda tasvirlanadi. Fazoviy bog‘liqlikni baholash uchun Moran’s I, mahalliy klasterlarni aniqlash uchun LISA ko‘rsatkichlaridan foydalanish mumkin. Bunday yondashuv kasallik ko‘rsatkichi yuqori bo‘lgan hududlar tasodifiy joylashganmi yoki qo‘shni hududlarda ham o‘xshash klaster hosil qilganmi, degan savolga javob beradi.

Aholi dinamikasining matematik modeli. Modelda aholi beshta kompartamentga ajratiladi: S(t) - diabetga chalinmagan, ammo xavf omillariga ega aholi; U(t) - diabet mavjud bo‘lishi mumkin, lekin aniqlanmagan guruh; D(t) - tashxisi tasdiqlangan va kuzatuvdagi bemorlar; C(t) - asoratlari qayd etilgan bemorlar; R(t) - remissiya yoki xavf omillari kamayishi tufayli faol kuzatuvdan chiqqan guruh. Model quyidagi differensial tenglamalar tizimi bilan ifodalanadi:

$$dS/dt = \Lambda - [\lambda(t)+\mu]S + \rho R - \sigma S$$
$$dU/dt = \lambda(t)S - [\delta+\mu+\kappa]U$$
$$dD/dt = \delta U + \kappa U - [\gamma+\alpha+\mu]D$$
$$dC/dt = \alpha D - [\nu+\mu_c]C$$
$$dR/dt = \gamma D + \nu C - [\rho+\mu]R$$

Bu yerda Λ - yangi aholi qo‘shilishi, μ - tabiiy chiqib ketish, $\lambda(t)$ - xavf omillari ta’sirida diabet holatiga o‘tish intensivligi, δ - skrining orqali aniqlanish, κ - klinik murojaat orqali aniqlanish, γ - nazoratga olingan bemorlar ulushi, α - asoratga o‘tish, ν - asoratli bemorning nazorat yoki reabilitatsiya guruhiga o‘tishi, ρ - remissiyadan xavf guruhiga qaytish koeffitsiyentidir.

GIS va sun’iy intellekt asosida prognozlash. Matematik model umumiy populyatsiya dinamikasini tushuntirsa, mashinaviy o‘qitish hudud yoki shaxsiy xavf darajasini prognozlashda qo‘shimcha vosita bo‘lishi mumkin. Hududiy model

uchun gradient boosting, random forest yoki elastik net regressiyasi; shaxsiy klinik ma'lumotlar uchun esa logistika regressiyasi, random forest va XGBoost kabi algoritmlar sinovdan o'tkaziladi. Har bir modelda vaqt bo'yicha ajratilgan o'qitish va test to'plamlari ishlatiladi. Tasodifiy aralashtirish vaqtga bog'liq prognozda kelajak ma'lumotining o'tmishga sizib kirish xavfini oshirishi mumkin.

Model sifati ROC-AUC bilan cheklanmasligi kerak. Sezgirlik, spetsifiklik, aniqlik, F1-mezon, kalibrlash grafigi va Brier skori birgalikda baholanadi. Aholi salomatligi uchun noto'g'ri manfiy prognoz - xavfli guruhni o'tkazib yuborish - noto'g'ri musbat prognozdan farqli oqibatga ega bo'lishi mumkin. Shu sababli qaror chegarasi klinik va sog'liqni saqlash mutaxassislari bilan kelishiladi. SHAP kabi izohlash usullari model qaysi omillar sabab hudud yoki guruh xavfi yuqori deb baholanganini ko'rsatishga yordam beradi.

GIS qatlami model natijalarini "past", "o'rta" va "yuqori" xavf zonalariga ajratadi. Biroq xarita hududdagi har bir shaxs kasal degan xulosani bermaydi. Xarita ekologik darajadagi tahlil bo'lib, individual klinik qaror o'rnini bosa olmaydi. Uning vazifasi skrining punktlarini joylashtirish, profilaktik dasturlarni ustuvor hududlarga yo'naltirish va resurslarni rejalashtirishga ko'maklashishdir.

Kutiladigan ilmiy yangilik va amaliy ahamiyat. Tadqiqotning ilmiy yangiligi uch yo'nalishda namoyon bo'ladi. Birinchidan, qandli diabet uchun xavf, aniqlanmagan holat, tashxislangan holat va asoratlar o'rtasidagi o'tishlarni yagona dinamik modelga birlashtirish taklif etiladi. Ikkinchidan, model parametrlari hududiy xavf omillari va skrining qamrovi bilan bog'lanadi. Uchinchidan, differensial tenglamalar modeli GISdagi fazoviy klasterlar va mashinaviy o'qitish prognozi bilan taqqoslanib, turli usullar kelishadigan hududlar aniqlanadi.

Amaliy jihatdan model sog'liqni saqlash boshqaruviga uch xil natija beradi: hududlar bo'yicha kasallik yukining taqqoslanadigan ko'rsatkichi; kelgusi yillardagi ehtimoliy dinamika; profilaktik va skrining resurslari uchun ustuvor zonalar. Sog'lom ovqatlanish, jismoniy faollikni oshirish va erta aniqlash bo'yicha tadbirlar modelga ssenariy sifatida kiritilib, ularning potensial ta'siri baholanishi mumkin. Bunday natijalar "qaysi hududda qanday chora ko'proq samara beradi?" degan boshqaruv savoliga javob izlash imkonini beradi.

Tadqiqotning cheklovlari va etik talablar. Model natijasi ma'lumotlarning to'liqligi va sifatiga bog'liq. Faqat tibbiy muassasaga murojaat qilgan bemorlar hisobga olinsa, aniqlanmagan holatlar ko'payib ko'rinmay qoladi. Hududlar bo'yicha ma'lumotlar agregatsiyasi ekologik xatoga, ya'ni guruhga xos xulosani shaxsga bevosita ko'chirishga olib kelishi mumkin. Shuningdek, mashinaviy o'qitish modeli bir hududdagi ma'lumotda yaxshi ishlasa ham, boshqa hududda xuddi shunday natija bermasligi mumkin. Shu sababli tashqi validatsiya va sezgirlik tahlili majburiy bosqich hisoblanadi.

Tadqiqotda shaxsiy tibbiy ma'lumotlar maxfiyligi, ma'lumotlarni minimallashtirish, rozilik, deidentifikatsiya va algoritmik adolat tamoyillariga rioya qilinadi. Model natijasi bemorga tashxis qo'yish uchun emas, populyatsion rejalashtirish va ilmiy tahlil uchun ishlatilishi lozim. Har qanday individual tibbiy qaror malakali shifokor ko'rigiga asoslanadi.

Xulosa. Qandli diabetning aholi orasidagi hududiy tarqalishini baholash uchun matematik model, GIS va sun'iy intellektni birlashtirgan yondashuv ilmiy va amaliy jihatdan asosli hisoblanadi. Taklif etilgan besh kompartamentli model aniqlanmagan holatlar, tashxis, asoratlar va nazorat jarayonlarini alohida ko'rsatadi. Bu yondashuv qandli diabet yuqumli kasallik emasligini hisobga oladi va yangi holatlarning shakllanishini xavf omillari funksiyasi orqali ifodalaydi.

Ilmiy tadqiqot doirasida keyingi bosqich mahalliy hududlar bo'yicha standartlashtirilgan, anonim va vaqt bo'yicha izchil ma'lumotlar bazasini shakllantirishdan iborat bo'lishi kerak. Keyin model parametrlarini baholash, GIS klasterlarini tekshirish, mashinaviy o'qitish natijalarini kalibrlash va profilaktika ssenariylarini solishtirish mumkin. Shundagina model oddiy nazariy formula emas, balki qandli diabet profilaktikasi va sog'liqni saqlash resurslarini boshqarishga xizmat qiladigan ilmiy vositaga aylanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

[1] World Health Organization. Diabetes: Key facts and overview. 14 November 2024. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes

[2] Wu J., Wang Y., Xiao X. et al. Spatial Analysis of Incidence of Diagnosed Type 2 Diabetes Mellitus and Its Association With Obesity and Physical Inactivity. Frontiers in Endocrinology, 2021, 12:755575. https://doi.org/10.3389/fendo.2021.755575

[3] AlShurbaji M., Abdul Kader L., Hannan H. et al. Comprehensive Study of a Diabetes Mellitus Mathematical Model Using Numerical Methods with Stability and Parametric Analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, 20(2):939. https://doi.org/10.3390/ijerph20020939

[4] Nasir H., Mat Daud A.A. Population models of diabetes mellitus by ordinary differential equations: A review. Mathematical Population Studies, 2021/2022, 29:1–33. https://doi.org/10.1080/08898480.2021.1959817

[5] Deberneh H.M., Kim I. Prediction of Type 2 Diabetes Based on Machine Learning Algorithm. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(6):3317. https://doi.org/10.3390/ijerph18063317

[6] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 11th edition. 2025. https://diabetesatlas.org/resources/idf-diabetes-atlas-2025/

[7] Boutayeb A., Twizell E.H., Achouayb K., Chetouani A. A mathematical model for the burden of diabetes and its complications. BioMedical Engineering OnLine, 2004, 3:20. https://doi.org/10.1186/1475-925X-3-20

[8] Collins G.S., Mallett S., Omar O., Yu L.M. Developing risk prediction models for type 2 diabetes: a systematic review of methodology and reporting. BMC Medicine, 2011, 9:103. https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-103