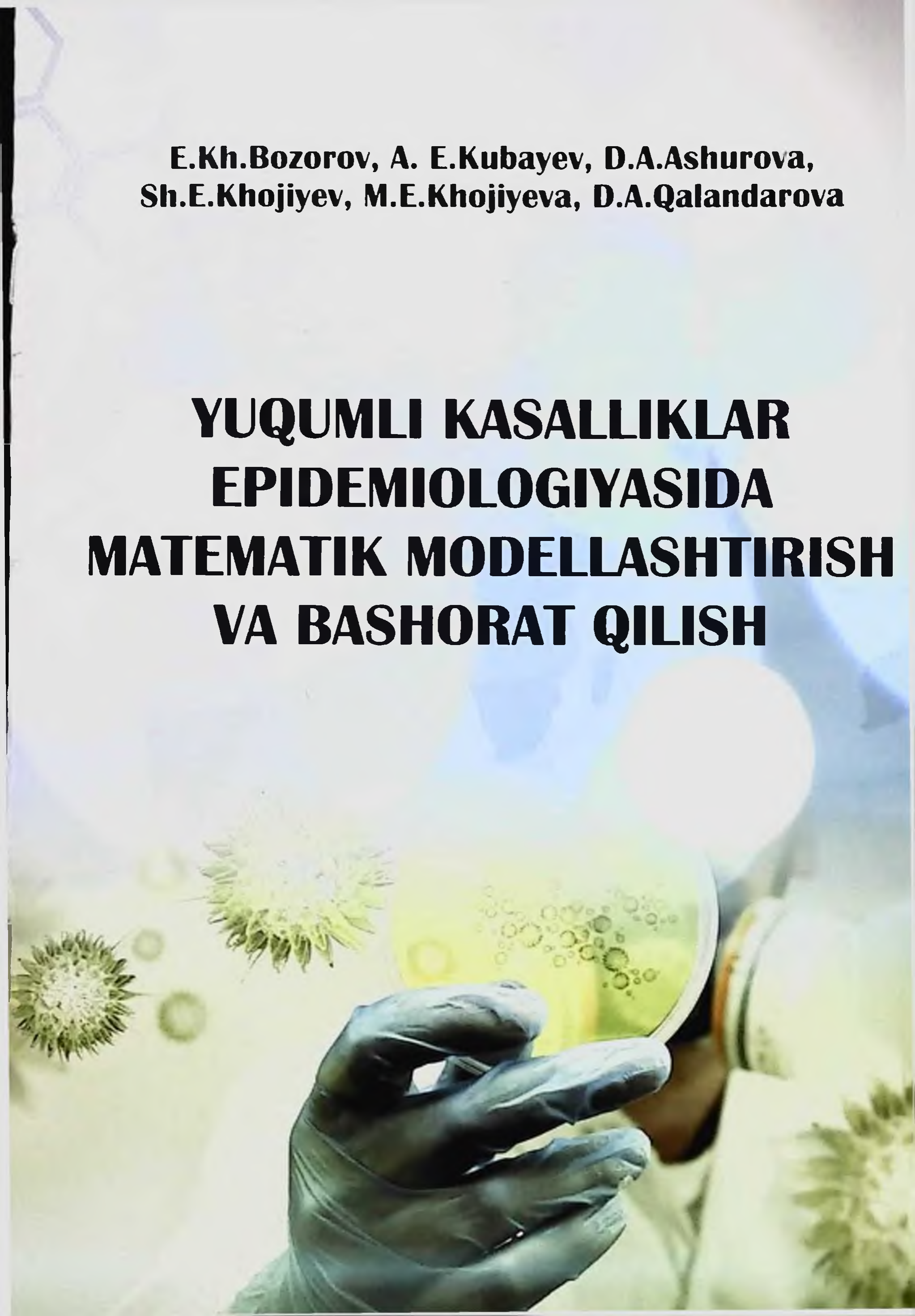


**E.Kh.Bozorov, A. E.Kubayev, D.A.Ashurova,
Sh.E.Khojiyev, M.E.Khojiyeva, D.A.Qalandarova**

**YUQUMLI KASALLIKLAR
EPIDEMIOLOGIYASIDA
MATEMATIK MODELLASHTIRISH
VA BASHORAT QILISH**



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

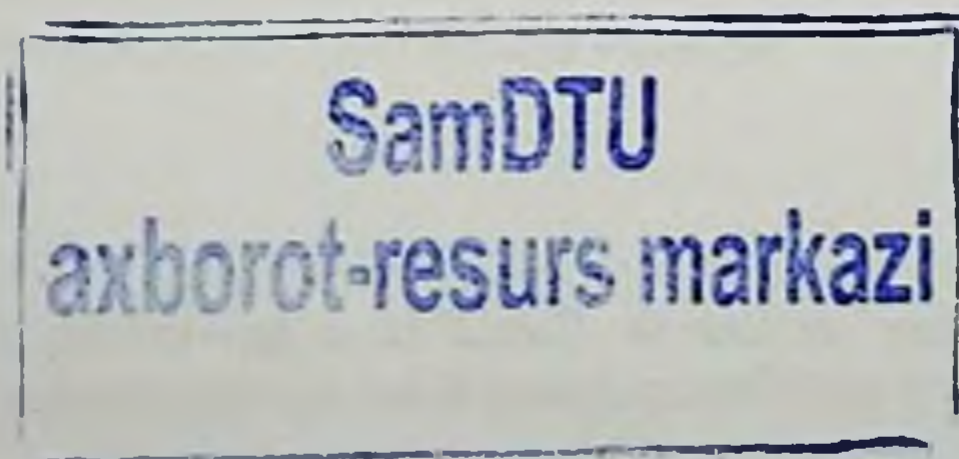
SAMARQAND DAVLAT TIBBIYOT UNIVERSITETI

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
YADRO FIZIKASI INSTITUTI**

**E.Kh.Bozorov, A. E.Kubayev, D.T.Ashurova, Sh.E.Khojiyev,
M.E.Khojiyeva, D.A.Qalandarova**

**YUQUMLI KASALLIKLAR
EPIDEMIOLOGIYASIDA MATEMATIK
MODELLASHTIRISH VA BASHORAT
QILISH**

O‘quv-uslubiy qo‘llanma



Samarqand – 2024

UO'K: 614.4

E.Kh.Bozorov, A. E.Kubayev, D.T.Ashurova, Sh.E.Khojiyev, M.E.Khojiyeva, D.A.Qalandarova. Yuqumli kasalliklar epidemiologiyasida matematik modellashtirish va bashorat qilish. O'quv-uslubiy qo'llanma. – Samarqand: "SamDCHTI" nashriyoti, 2024. – 32 bet.

O'quv-uslubiy qo'llanma "matematik modellashtirish asoslari" ma'ruza kursi asosida tuzilgan bo'lib, oliy o'quv yurtlarida matematik modellashtirish yo'nalishi bakalavrlari uchun mo'ljallangan. Qo'llanmada yuqumli kasalliklar epidemiologiyasida matematik modellashtirish va bashorat qilish, infeksiyon tarqalishining matematik modeli, infeksiyon tarqalishining simulyatsiya qilingan ko'p agentli modeli va modellashtirishda ishlatiladigan asosiy taxminlar kabi mavzular berilgan. Qo'llanma tibbiyot universitetlari talabalari, aspirantlar va matematik modellashtirish jarayonlarini o'rganadigan mutaxassislar uchun mo'ljallangan.

Ushbu o'quv-uslubiy qo'llanma № AM-PZ-2019062031 «"Yadro energetikasi", "Yadro tibbiyoti va texnologiyalari", "Radiasion tibbiyoti va texnologiyalari" fanlari bo'yicha bakalavr va magistrlar uchun multimediali darsliklarini yaratish» nomli innovasion loyixa doirasida yozib tayorlangan materiallarning pedagogik taxlili asosida yozilgan bo'lib, darsliklar mualliflariga minnatdorchilik bildiramiz.

Taqrizchilar:

Uz R FA Yadro fizikasi instituti
Eksperimental yadro fizikasi laboratoriyasi katta ilmiy
xodimi, f.-m. f. n.: M.Qayumov

Samarqand davlat tibbiyot universiteti
«Informatika, informatsion texnologiyalari»
kafedrası mudiri dotsent: S.A.Karabayev

Ushbu uslubiy qo'llanma SamDTU o'quv-uslubiy kengashi tomonidan 2023-yil 1-noyabr 3-sonli bayonnomasi bilan nashrga tavsiya etilgan.

MUNDARIJA

Kirish	4
1. Yuqumli kasalliklar epidemiologiyasida matematik modellashtirish va bashorat qilish.....	6
2. Infektsion tarqalishining matematik modeli.....	12
3. Modellashtirishda ishlatiladigan asosiy taxminlar	14
4. Infektsion tarqalishining simulyatsiya qilingan ko'p agentli modeli.....	15
5. Sifilitik infeksiyada epidemik jarayonning rivojlanish qonuniyatlarini o'rganishda matematik modellashtirish imkoniyatlari.....	18
Adabiyotlar.....	30

KIRISH

Matematik modellashtirishning turli elementlari bir vaqtning o'zida aniq fanlarning paydo bo'lishi bilan ishlatilgan. Ushbu fakt bilan bog'liq bo'lgan narsa shundaki, ularning ba'zilari ilm-fan arboblari, masalan, Nyuton va Eyler ismlarini olib yurishadi, "algoritm" esa o'rta asr olimi Al-Xorazmiy nomidan kelib chiqqan. Ushbu metodologiyaning ikkinchi "tug'ilishi" XX asrning 40-50-yillari oxiri va 50 — yillari boshlariga to'g'ri keldi va kamida ikkita sababga bog'liq edi: kompyuterlarning paydo bo'lishi, garchi hozirgi standartlarga muvofiq kamtarona bo'lsa-da, ammo shunga qaramay olimlarni juda katta hajmdagi hisoblash ishlaridan xalos qildi va misli ko'rilmagan ijtimoiy buyurtma. an'anaviy usullar bilan amalga oshirib bo'lmaydigan raketa-yadro qalqonini yaratish bo'yicha SSSR va AQSh milliy dasturlarini amalga oshirish. Matematik modellashtirish yordamida ushbu muammo hal qilindi. Birinchi bosqichda yadroviy portlashlar va raketalarning parvozlari kompyuterlar yordamida simulyatsiya qilindi, keyinchalik ular amalda amalga oshirildi. Ushbu fakt modellashtirish metodologiyasini yanada rivojlantirishga yordam berdi, ularsiz hozirgi kunda keng ko'lamlı texnologik, ekologlar yoki iqtisodiy loyihalar amalga oshirilmayapti.

Zamonaviy ilm-fan tomonidan o'rganilgan texnik, ekologik, iqtisodiy va boshqa texnologiyalar endi an'anaviy nazariy usullar bilan o'rganishga imkon bermaydi. Ular ustida to'g'ridan-to'g'ri tabiiy tajriba uzoq, qimmat, ko'pincha xavfli yoki shunchaki mumkin emas, chunki bu si-stemlarning aksariyati "yagona nusxada" mavjud. Ularga nisbatan xatolar va noto'g'ri hisob-kitoblarning narxi qabul qilinishi mumkin emas. Shu nuqtai nazardan, matematik modellashtirish ilmiy va texnologik taraqqiyotning muqarrar tarkibiy qismidir.

Matematik modellashtirish metodologiya bo'lib, matematika, fizika va biologiya kabi ilmiy fanlar vositasi sifatida ishlatiladi va ular bilan raqobatlashmaydi. Ijodiy faoliyatning deyarli barcha sohalarida tadqiqotchilardan tortib harbiy rahbarlarga qadar modellashtirish qo'llaniladi. Matematik modellashtirish quyidagi talablarning bajarilishi bilan ta'minlanishi kerak: asosiy tushunchalar va

taxminlarni aniq shakllantirish, tajriba asosida (posteriori), ishlatilgan modellarning etarliligini tahlil qilish, hisoblash algoritmlarining kafolatlangan aniqligi va boshqalar. Formalizatsiya qilish qiyin bo'lgan ob'ektlarni modellashtirishda matematik va matematik bo'lmagan atamalarning farqlanishini, shuningdek mavjud matematik apparatlardan foydalanish xususiyatlarini qo'shimcha ravishda hisobga olish kerak.

YUQUMLI KASALLIKLAR EPIDEMIOLOGIYASIDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA BASHORAT QILISH

Kasalliklarni matematik modellashtirish dolzarb muammo hisoblanadi zamonaviy dunyoda tobora ko'proq tadqiqotchilar ma'lum bir kasallikning prognozini tuzish uchun matematik modellarga murojaat qilmoqdalar, chunki ular jamiyatda sodir bo'layotgan ba'zi jarayonlarning o'zgarishini to'g'ri va aniq o'rganishga yordam beradi matematik modellashtirish tibbiyotning haqiqiy tajribalar mumkin bo'lmagan yoki qiyin bo'lgan ba'zi sohalarida, masalan, epidemiologiyada ajralmas hisoblanadi. mavzu tibbiyotda matematik modellashtirishni qo'llash imkoniyatlarini o'rganishning tarixiy jihatlariga bag'ishlangan.

Ko'rib chiqish ushbu yo'nalishning asosiy rivojlanish bosqichlari, yutuqlari va istiqbollari namoyish etadi.

Kasalliklarni matematik modellashtirish zamonaviy dunyoda dolzarb muammodir. Ko'proq tadqiqotchilar ma'lum bir kasallikning prognozini tuzish uchun matematik modellarga murojaat qilmoqdalar, chunki ular jamiyatda sodir bo'layotgan muayyan jarayonlarning o'zgarishini eng to'g'ri va aniq o'rganishga yordam beradi. Matematik modellashtirish tibbiyotning haqiqiy tajribalar mumkin bo'lmagan yoki qiyin bo'lgan ba'zi sohalarida, masalan, epidemiologiyada ajralmas hisoblanadi. Kasallik epidemiologiyasidagi matematik modellarning printsiplari tabiiy fanlarda qo'llaniladigan modellardan juda farq qiladi, chunki tajriba tomonidan tasdiqlangan o'zgarish bog'liqliklari mavjud emas. Prognozlash kontseptsiyasi modelerlar tushunganidek taqdim etiladi va ba'zi klassik misollarga asoslanishi mumkin. Ishonchli bashoratlarni taqdim etishning zaruriy sharti shundaki, uning asosidagi parametrlar haqiqatga mos keladi, ammo bunday muvofiqlik ko'pincha cheklangan, chunki barcha modellar haqiqatni soddalashtirishdir [1]. Matematik modellashtirishning asosiy printsiplari biz "ishonchlilik tezi" deb ataydigan narsadir: qiymatlari haqiqatga taxminan mos keladigan model taxminan ishonchli prognozni beradi. Qaysi prognozlarga ishonish mumkinligini aniqlash uchun turli modellarning natijalarini o'rganish muhimdir.

Kasallikning tarqalishini bashorat qilishda matematik modellashtirish profilaktika, davolash, moliyalashtirish qarorlarini qabul qilishda global yordam berishi mumkin. Shuni ta'kidlash kerakki, matematik model — bu matematik belgilar, formulalar, tenglamalar shaklida taqdim etilgan tizim yoki o jarayoni haqidagi tasavvurimizning mavhum timsoli, kompyuter modeli esa har qanday dasturlash tilida yozilgan va elektron kompyuter (kompyuter) uchun dastur sifatida amalga oshirilgan matematik modeldir. Matematika bizga xulq-atvor qoidalarini ixcham va aniq shaklda shakllantirish uchun til beradi, bu bizning taxminlarimizni aniq ifodalashga majbur qiladi va yordam beradi. Matematik model qurilganda, matematik tahlil, ko'pincha kompyuter simulyatsiyasi bilan birgalikda, biz taxmin qilgan taxminlarning oqibatlarini aniqlash orqali modelning global xatti-harakatlarini o'rganishga yordam beradi [3].

Matematik modellashtirish usuli ixtiyoriy tabiatning murakkab tizimlari, shu jumladan biotibbiyot tizimlarining ishlashiga asos bo'lgan naqshlarni o'rganish uchun muhim vositadir. Murakkab tizimlarni matematik modellashtirishning asosiy printsipi optimallik tamoyilidir [4]. Bu shuni anglatadiki, model iloji boricha sodda bo'lishi kerak, ya'ni o'zgaruvchilarning minimal sonini (va shuning uchun tenglamalarni) o'z ichiga olishi kerak, shuningdek o'zgaruvchilar o'rtasida nisbatan oddiy aloqalarga ega bo'lishi kerak. Shu bilan birga, oddiy modelning qaysi bashoratlari haqiqatga ishonchli tarzda qo'llanilishi mumkinligi to'g'risida qaror qabul qilish qiyin savol bo'lishi mumkin. Matematik model tomonidan qilingan bashoratlarning ishonchliligini tekshirish uchun modelerlar tomonidan qo'llaniladigan muhim protsedura turli modellarni taqqoslashdir [5-7]. Shunday qilib, agar juda oddiy model bashorat qilsa va xuddi shu yoki juda o'xshash prognoz birinchi modelda bo'lmagan ba'zi mexanizmlar yoki tafsilotlarni o'z ichiga olgan biroz murakkabroq model bilan amalga oshirilsa, prognoz ishonchli deb taxmin qilish mumkin. Populyatsiyada yuqumli kasallikning tarqalishining matematik modeli patogenning xostlar o'rtasida yuqishini kasal va sezgir odamlar o'rtasidagi aloqa xususiyatiga, infeksiyadan yuqtirishgacha bo'lgan yashirin davrga, kasallikning davomiyligiga, infeksiyadan keyin olingan immunitet darajasiga va boshqalarga qarab tavsiflaydi. ushbu omillarning barchasi

modellashtirilgandan so'ng, yuqtirgan odamlarning soni, kasallikning eng yuqori darajasi, ya'ni, butun epidemiyani bashorat qilish va model har bir vaqt uchun kutilgan holatlar sonini beradi. 1760 yilda D. Bernulli (1700-1782) birinchi marta yuqumli kasalliklarni o'rganish uchun matematik tahlilni qo'llagan va shu bilan chechakka qarshi emlashning turli usullarining samaradorligini baholagan. Uning tahlili birinchi marta 1760 yilda Parijdagi Qirollik fanlar akademiyasida taqdim etilgan va 1766 yilda nashr etilgan [8]. 1840 yilda W. Farr normal taqsimot egri chizig'idan foydalanib, 1837 yildan 1839 yilgacha bo'lgan davrda Angliya va Uelsda chechakdan o'lim to'g'risidagi ma'lumotlarni tasvirlab berdi. 1906 yilda Jon Braunli ushbu usul ustida ishlashni davom ettirdi va Pearson taqsimotiga asoslangan epidemiologik ma'lumotlar seriyasini moslashtirdi, bu uning "immunitetni himoya qilishning statistik yondashuvi: epidemiya nazariyasi" maqolasida tasvirlangan [9]. Matematik epidemiologiyada eng taniqli va paradigmatic model 1927 yilda W. O. Kermack va A. G. McKendrick tomonidan tasvirlangan oddiy SIR modelidir. U differentsial tenglamalar (uzluksiz vaqt) yoki farq tenglamalari (diskret vaqt) tizimlaridan foydalangan holda sezgir, yuqtirgan va tiklangan shaxslar guruhlarining dinamikasini tavsiflaydi [10].

Ushbu modelda populyatsiya sezgir, yuqumli va tiklangan shaxslarga bo'linadi, $s(t)$, $I(t)$ va $R(t)$ funktsiyalari ularning t vaqtidagi populyatsiyalardagi tegishli ulushlarini bildiradi (masalan, kunlarda o'lchanadi). Yuqorida aytib o'tilgan ishlarda epidemiologiya vazifalari uchun birinchi marta "faol massalar qonuni" qo'llanildi, unga ko'ra populyatsiyada yangi yuqtirganlar soni sezgir va yuqtirgan shaxslarning hozirgi sonining ko'paytmasiga to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir. Bunday matematik modellashtirish bilan epidemiya chegarasi, epidemiya sodir bo'lganda uning hajmi to'g'risida xulosa chiqarish mumkin. Epidemiya chegarasi shuni anglatadiki, agar patogen kelishidan oldin aholining bir qismi sezgirlarning boshlang'ich ulushini kamaytirish uchun emlangan bo'lsa, epidemiyaning oldini olish mumkin. Ushbu natija umumiy immunitet kontseptsiyasining markazida bo'lib, agar aholining etarlicha katta qismi emlangan bo'lsa, epidemiyaning oldini olishga erishish mumkin. Agar emlash darajasi etarlicha yuqori

bo'lmasa, unda siz faqat epidemiya darajasini kamaytirishingiz mumkin, ammo uni oldini olmaysiz. Sir modellarida aniq bo'lmagan ko'plab fikrlar mavjud, masalan, yaxshi aralashgan populyatsiya, har bir kishi populyatsiyadagi boshqa har qanday odam bilan aloqa qilish ehtimoli teng deb taxmin qiladi. Bu geografik va ijtimoiy jihatdan yaqinroq bo'lgan odamlar o'rtasidagi aloqalar ehtimoli ko'proq ekanligini e'tiborsiz qoldiradi. Ushbu model shaxslarning bir-biridan yuqish bilan bog'liq bo'lgan yo'llar bilan farq qilishi mumkinligini hisobga olmaydi. Boshqalarga qaraganda infektsiyaga ko'proq moyil yoki yuqumli odamlar bor; va boshqalarga qaraganda ko'proq odamlar bilan aloqada bo'lgan odamlar bor. Infektsion davomiyligi eksponent ravishda taqsimlanadi-bu model odamni aloqa qilgandan so'ng darhol yuqtirishi va vaqt birligida tiklanish ehtimoli infektsiyadan keyingi vaqtga bog'liq emasligini anglatadi. Ikkala taxmin ham haqiqatga to'g'ri kelmaydi [11].

Bundan tashqari, katta populyatsiya — doimiy miqdorlar (aholi ulushi) nuqtai nazaridan tuzilgan modelning o'zi, populyatsiya katta (qat'iy aytganda, cheksiz) deb taxmin qiladi. Kichik populyatsiyada (masalan, qishloqda yoki maktabda) stoxastik effektlar muhimroq va o'rta maydon yaqinlashuvi yordamida modellashtirish (ya'ni differentsial tenglamalar yordamida) muammoli bo'lib qoladi [12]. Modelerlar bu masalani hal qilishlari mumkin bo'lgan asosiy yondashuv ba'zi Real bo'lmagan taxminlarni ko'proq vakillik bilan almashtiradigan yanada murakkab modellarni yaratishdir. Haqiqiy model uchun ham o'zgarishsiz yoki biroz o'zgartirilgan prognozlar ishonchli deb hisoblanadi va ular haqiqiy dunyoga tatbiq etilishi mumkinligiga ishonch hosil qilish mumkin. Yuqumli kasalliklarning yuqishini matematik modellashtirish bo'yicha adabiyotlarning aksariyati yuqorida aytib o'tilgan taxminlarni va boshqalarni yumshatishdan iborat bo'lib, tegishli modellarni yaratish va model taxminlari o'zgarganda modellarning xatti-harakatlari qanday o'zgarishini o'rganish orqali [12-14]. Yuqoridagi oddiy SIR modeli bilan qilingan bashoratlarga qaytsak, shuni ta'kidlashimiz mumkinki, ushbu model tomonidan bashorat qilingan chegara xususiyati deyarli barcha epidemiologik modellar uchun amalga oshiriladi. Har bir o'ziga xos model uchun bunday tahlil bizga ma'lum bir model kontekstida patogenni qanday yo'q qilish mumkinligi haqida

ma'lumot beradi. Eng muhimi shundaki, chegara tushunchasi "universal" bo'lib, deyarli har bir modelda uchraydi (qiziqarli istisnobu masshtabsiz tarmoqlarda yuqish modellari) [15]. Ammo shuni ta'kidlash kerakki, kerak sir modelidan olingan miqdoriy bashoratlarni haqiqiy dunyoga tatbiq etishdan ehtiyot bo'ling. Masalan, patogen tarqalishining oldini olish uchun zarur bo'lgan emlash, qamrovini baholash mavjud tibbiy va epidemiologik ma'lumotlar bo'yicha ushbu model parametrlarini baholagandan so'ng SIR modelidan olinishi mumkin bo'lsa-da, agar u boshqa batafsil modellar tomonidan tasdiqlanmagan bo'lsa, bunday miqdoriy prognozga ishonmaslik kerak. Shunday qilib, yuqoridagi kabi juda oddiy modellar ham ba'zi maqbul bashoratlarni ta'minlaydi, ammo bunday oddiy modelda bashorat qilish doirasini cheklash kerak. Miqdoriy bashoratlarni olish uchun modellarni yanada aniqroq va shuning uchun murakkabroq qilish kerak.

Rossiyada 1889 yilda epidemiolog P. D. Enn yuqumli kasallikning diskret vaqt ichida tarqalish modelini ishlab chiqdi va nashr etdi, uning tenglamalari Reed-Frost modelida olingan guruhlar sonining o'rtacha qiymatlarini tavsiflaydi. Bu faqat Klaus Dits va Diter Shenzlning epidemiologiyada matematik modellarni qo'llash tarixiga bag'ishlangan sharhi tufayli ma'lum bo'ldi. Olimlar o'z asarlarida kontaktlar soni uchun taqsimotning turli qonunlaridan foydalanish asosida ic modelini umumlashtirish usullarini muhokama qildilar. P. D. Ozkoning ishi 1989 yilda ingliz tilida qayta nashr etilgan va rus olimining o'zi tarixda epidemiyani modellashtirish bo'yicha birinchi mutaxassis deb tan olingan [16-18]. M. S. Asarlari Bartlett 1949 yilda nashr etilgan stoxastik SIR modelini doimiy ravishda o'rganish orqali epidemiologik jarayonlarning stoxastik modellarini ishlab chiqishni boshladi [19]. Bundan tashqari, N. Baily (1970) [20] asarlari epidemiyalarni modellashtirishda tasodifiy jarayonlar nazariyasining qo'llanilishiga katta hissa qo'shdi. Epidemiyaning tarqalishining birinchi fazoviy modellaridan biri 1957 yilda D. G. Kendall tomonidan qisman differentsial tenglamalar asosida tasvirlangan [21]. Shu bilan birga, M. S. Bartlett simulyatsiya asosida fazoviy tuzilish tugunlarida epidemiyalarning tarqalishini modellashtiradi. Bu kompyuter simulyatsiyasiga asoslangan ilmfanning yangi yo'nalishi edi. J. Fox va L. Elveback 1971-yilda

infektsiyani tarqatishning taqlid qiluvchi, shaxsga yo'n altirilgan modelini tasvirlab berishdi, bu jahon ilmiy hamjamiyati tomonidan darhol tan olinmagan, chunki shaxsga yo'n altirilgan modellarni sozlash uchun ma'lumotlar yetarli emas va o'sha paytdagi kompyuterlarning unumdorligi past [22]. O'tgan asrning 80-yillaridan boshlab turli kasalliklarni, shu jumladan onkologik kasalliklarni tashxislash va davolashning turli usullari samaradorligini baholashning matematik modellari paydo bo'la boshladi. Ushbu modellar deterministik va ehtimollik yondashuvlari asosida ishlab chiqilgan [16-18]. Xulosalar. Shunday qilib, biologik jarayonlarning matematik tasviri epidemiologik taxminlarga nisbatan shaffoflik va aniqlikni ta'minlaydi, bu model natijalari va kuzatilgan naqshlarni taqqoslash orqali kasallik epidemiologiyasini tushunishni sinab ko'rish imkonini beradi [23]. Model, shuningdek, kasallikning tarqalishidagi o'zgarishlar kabi muhim masalalar bo'yicha bashorat qilish orqali qaror qabul qilishda yordam berishi mumkin. Alohida e'tiborga loyiq bo'lgan haqiqat shundaki, yuqish modellari immunologik reaksiyalarning yuqumli jarayonini zamonaviy tushunishga asoslangan. Bunday bilimlar mavjud bo'lmagan hollarda, ushbu jarayonlar haqida taxminlar qilish mumkin. Biroq, bunday hollarda bir nechta mumkin bo'lgan mexanizmlar bo'lishi mumkin va shuning uchun o'xshash kuzatilgan naqshlarga olib kelishi mumkin bo'lgan bir nechta turli xil modellar bo'lishi mumkin, shuning uchun model natijalarini taqqoslash orqali asosiy mexanizmlar haqida bilish har doim ham mumkin emas. Ammo bir kontekstda o'xshash natijalarga olib keladigan turli xil modellar boshqasida bunga erisha olmasligi mumkin. Bunday hollarda turli xil mexanizmlarni topish uchun keyingi epidemiologik va eksperimental tadqiqotlar o'tkazish yaxshiroqdir. Xulosa qilib shuni ta'kidlash kerakki, matematik modellarning muhim roli shundaki, ular bizni turli yuqumli kasalliklar epidemiologiyasi haqidagi hozirgi tushunchamizdagi kamchiliklar haqida ogohlantirishi va keyingi tadqiqotlar uchun maqsad va vazifalarni belgilashi mumkin.

INFEKTSION TARQALISHINING MATEMATIK MODELI

Matematik modellashtirish haqiqiy dunyoda sodir bo'layotgan murakkab ob'ektlar va jarayonlarni o'rganish uchun etarlicha kuchli vositadir. Bu, ayniqsa, ob'ektlar ustida haqiqiy tajribalar qiyin yoki shunchaki imkonsiz bo'lgan tadqiqot sohalarida ajralmas hisoblanadi. Bunday sohalaridan biriga epidemiologiya misol bo'la oladi. Turli xil infeksiyalar va epidemiyalarning tarqalishi muammosi butun insoniyat uchun dolzarbdir. Ishlab chiqilgan matematik modellar asosan differentsial tenglamalar tizimidir. Ushbu turdagi modellarning bir qator kamchiliklari bor, ya'ni: modellar uzluksiz, infeksiyaning tarqalish jarayoni esa diskretdir; ob'ektlarning individual xususiyatlari hisobga olinmaydi; modellarda ob'ektlarning fizik xususiyatlari bilan bog'liq bo'lmagan "o'rtacha" parametrlar mavjud; ba'zi parametrlarning qiymatlarini statistika ma'lumotlari asosida aniqlash juda qiyin yoki imkonsizdir [1, 2]. Ijtimoiy va epidemiologik jarayonlarni modellashtirish tamoyillari tabiiy fanlardagi modellashtirishdan sezilarli darajada farq qiladi. Tajriba va amaliyot tomonidan qat'iy belgilangan bog'liqliklar yo'q, ular har doim adolatli bo'lib qoladi va o'zgarmaydi.

Bunday jarayonlarning modellarini tuzishda barcha ma'lumotlarni topshirishning dastlabki noaniqligini, modellashtirishda ishlatiladigan o'zgaruvchilar va parametrlarning aniq matematik tavsifining yo'qligini hisobga olish kerak. Statistik ma'lumotlarning haqiqiy qiymatlaridan chetga chiqish ehtimolini tushunish muhimdir. Epidemiologiyada jarayonlarni modellashtirish uchun eng mos apparat sifatida ko'p agentli usul yordamida simulyatsiya modellashtirish nazarda tutiladi. Bu sizga har bir ob'ekt turi uchun dastlabki parametrlarni, shuningdek ob'ektlar bir-biri bilan va atrof-muhit bilan o'zaro ta'sir qiladigan qoidalar tizimini o'rnatish, infeksiyaning rivojlanishining dinamik qonuniyatlarini hisoblash va tarqalish tezligini o'zgartirishga yordam beradigan agentlarning eng muhim xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi. Ushbu yondashuvning afzalligi shundaki, murakkab tizimni tashkil etuvchi har bir ob'ektning individual xususiyatlari hisobga olinadi. Murakkab jarayonning dinamikasi nisbatan oddiy ob'ektlarning ishlashi va o'zaro ta'siri natijasidir [3]. Tahlilchining asosiy vazifasi o'zaro ta'sir

qoidalarini shakllantirishdir. Shuni ta'kidlash kerakki, Rossiyada ham, chet elda ham infeksiyalarning tarqalish jarayonlarini o'rganish uchun ko'p agentli yondashuv qo'llanilgan. Guo Zaiyi, Han Hann Kwang va Tay Joc Cing olimlari agent yondashuviga asoslangan OIV infeksiyasi uchun hujayra infeksiyasi modelini ishlab chiqdilar [4]. Ushbu model OIV infeksiyasi hujayralarining bir organizm ichida tarqalishini o'rganishga qaratilgan va odamlar o'rtasida infeksiyaning tarqalishini o'rganish uchun mo'ljallanmagan. Yuqumli kasalliklar va epidemiyalarning tarqalishini modellashtirishning ma'lum usullaridan biri bu uyali avtomatlarga asoslangan simulyatsiya [5]. Ko'p agentli yondashuv yordamida Amsterdanda gomoseksual erkaklar orasida Vitsinfeksiya tarqalish dinamikasi o'rganildi [6]. Ushbu model bitta xavf guruhida infeksiyaning tarqalishini ko'rib chiqadi, shuni ta'kidlash kerakki, ushbu yondashuv modellashtirish paytida tez-tez uchraydi. Ko'p agentli yondashuvni qo'llashda ishlatiladigan ko'plab texnikalar hozirda etarli darajada ishlab chiqilmagan. Xususan, ushbu modellarni parametrik aniqlash, hisoblash tajribalarining vakilligini ta'minlaydigan kerakli miqdordagi agentlarni topish, ko'p agentli modellarning etarliligini tekshirish muammolari hal qilinmadi. Shu sababli, turli xil tizimlarni tahlil qilishda ko'p agentli yondashuvdan foydalanishga mo'ljallangan yangi matematik modellar, algoritmlar va dasturlarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifadir. Ushbu ish infeksiyaning tarqalishining ko'p agentli modelini ishlab chiqishga qaratilgan bo'lib, uning asosida turli infeksiyalarni modellashtirish uchun universal simulyator yaratilishi kerak.

MODELLASHTIRISHDA ISHLATILADIGAN ASOSIY TAXMINLAR

Shunday qilib, ob'ektlarning individual xususiyatlarini hisobga olish va tarqalish jarayonini o'rganish uchun hisoblash tajribalarini o'tkazishga imkon beradigan infektsiyaning tarqalishining ko'p agentli modelini ishlab chiqish kerak. Dasturiy ta'minot majmuasi asosidagi matematik model va algoritmlarni ishlab chiqishda qabul qilingan asosiy taxminlar quyidagi shaklga ega.

1. Modellashtirish cheklangan hududda amalga oshiriladi, bu erda har qanday agent tizimning boshqa har qanday agenti bilan o'zaro ta'sir qilish ehtimoli mavjud, ya'ni.

2. Modeldagi vaqt diskretdir. Vaqt birligi bitta iteratsiyadir. Haqiqiy vaqtda u model parametrlarining qiymatlariga qarab bir kun, oy, yil va boshqalarni aks ettirishi mumkin. Hisoblash nol iteratsiyadan boshlanadi. Vaqt bosqichi birlikka teng.

3. Dastlabki vaqtda statistik ma'lumotlarga ko'ra tizimning ko'plab agentlari hosil bo'ladi. Agentlarning xususiyatlari va parametrlari butun to'plamning shakllanish bosqichida aniqlanadi.

4. Agentning maksimal umr ko'rish muddati takrorlanishlar soni bilan belgilanadi, shundan so'ng agent o'ladi. Agent yuqtirgan taqdirda simulyatsiya jarayonida maksimal umr ko'rish o'zgarishi mumkin.

5. Barcha agentlar uning infektsiyaga bo'lgan munosabatini belgilaydigan turlarga bo'linadi: sog'lom agent, yuqtirilgan agent, infektsiyani tashuvchisi (boshqa agentlarni yuqtirishga qodir, ammo infektsiyaning salbiy ta'sirini sezmaydi). Sog'lom agentlar, o'z navbatida, immunitetga ega bo'lishi yoki infektsiyaga moyil bo'lishi mumkin.

6. Ob'ektlarning har bir turi uchun qoidalar tizimi aniqlanadi, uning o'zaro ta'siri infektsiya tarqalish dinamikasining xususiyatini belgilaydi.

7. Bir vaqtning o'zida o'zaro ta'sir faqat tizimning ikkita agenti o'rtasida mumkin. Ya'ni, bunday o'zaro ta'sirning iloji yo'q, buning natijasida bir nechta (ikkitadan ortiq) agentlarning parametrlari o'zgaradi.

8. Turni almashtirish har xil turdagi ob'ektlar o'zaro ta'sirlashganda sodir bo'ladi. O'zaro ta'sir natijasi ob'ektning infektsiya holatini belgilaydigan turdir.

INFEKSION TARQALISHINING SIMULYATSIYA QILINGAN KO'P AGENTLI MODELI

Har qanday iteratsiyada yuqtirilgan agentlarning umumiy sonini har doim formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$K_{inf} = K_v + K_i - K_e,$$

bu yerda

K_{inf} - yuqtirilganlarning umumiy soni,

K_v - ichki jarayonlar natijasida yuqtirilganlar soni,

K_i - yuqtirilgan muhojirlar soni,

K_e - yuqtirilgan muhojirlar soni.

Ichki jarayonlar natijasida yuqtirilganlar soni quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$K_v = \sum_i K_{z_i} - D,$$

Formuladagi K_{z_i} bunda

K -turli yo'llar bilan yuqtirilgan infeksiyalar soni,

D -yuqtirilganlar orasida o'lganlar soni,

Z_i -i yuqish yo'li. Vaqtning dastlabki daqiqalarida quyidagilar mavjud

M -har xil turdagi ob'ektlar to'plami:

$M = \{ \{C_1\}, \{C_2\}, \dots, \{C_p\} \}$, bu yerda p -obyektlar turlari soni.

$$C_k = \{C_1^k, C_2^k, \dots, C_{n_k}^k\}, \quad k = \overline{1, p}, \quad (1)$$

bu erda C_k -k tipidagi ob'ektlar to'plami, n_k -vaqtning boshlang'ich nuqtasida k tipidagi ob'ektlarning umumiy soni. (1) ifodasi bilan belgilangan to'plamdagi har bir ob'ekt quyidagi parametrlar to'plamiga mos keladi:

$$C_i^k \rightarrow \{s_i^k, a_i^k, am_i^k, w_i^k, p_i^k, h_i^k\}, \quad i = \overline{1, n_k},$$

Bu erda s_i^k - ob'ektning jinsi,

a_i^k - ob'ektning boshlang'ich vaqtidagi yoshi,

am_i^k - ob'ektning maksimal umr ko'rish davomiyligi,
 w_i^k - ob'ektning boshqa ob'ektlar bilan o'zaro ta'siri soni,
 p_i^k - o'zaro ta'sir paytida infektsiya ehtimoli,

h_i^k -yuqtirilgan ob'ektning umr ko'rish davomiyligi.

Ob'ektlarning ishlashi quyidagi qoidalarga bo'ysunadi.

$t + 1$ vaqtidagi k tipidagi i -ob'ektning paydo bo'lishi (2) ifoda bilan, uning o'limi esa (3) ifoda bilan aniqlanadi.

$$(C_k)_t \rightarrow (C_k + \{C_i^k\})_{t+1} \quad (2)$$

$$(C_k)_t \rightarrow (C_k - \{C_i^k\})_{t+1} \quad (3)$$

Qoidalar tizimi (4) o'zgarishni belgilaydi

a^k - vaqt birligi uchun k tipidagi ob'ektning yoshi.

Bizning taxminlarimizga ko'ra, vaqt diskret va iteratsiyalarda o'lchanadi. Har bir iteratsiyada biz ob'ektning yoshini vaqt birligiga ko'paytiramiz. Tizimning ikkinchi qoidasiga ko'ra, agar unga berilgan maksimal umr muddati tugagan bo'lsa, ob'ektni k tipidagi ko'plab ob'ektlardan chiqarib tashlash kerak.

$$\begin{cases} (C_i^k)_{t-1} \rightarrow (C_i^k)_t: (a_i^k)_t = (a_i^k)_{t-1} + 1 \\ (a_i^k)_t \geq am_i^k \Rightarrow (C_k)_t \rightarrow (C_k - \{C_i^k\})_{t+1}, \\ k = \overline{1, p}, \quad i = \overline{1, n_k}. \end{cases} \quad (4)$$

Ifoda (5) har xil turdagi ob'ektlarning o'zaro ta'siri natijasida ob'ekt turi o'zgargan taqdirda, k tipidagi ob'ektlarning maksimal umrini h_{ii} (tur o'zgargandan keyin i -ob'ektning maksimal umr ko'rish davomiyligi) ning berilgan takrorlanishiga kamaytirishga imkon beradi

$$\begin{aligned} \{c_i^k \in C_k \mid k_{i+1} \neq k_i\} &\Rightarrow (am_i^k)_{i+1} = \\ &= \begin{cases} (a_i^k)_i + h_i, (a_i^k)_i + h_i < am_i^k \\ am_i^k, (a_i^k)_i + h_i \geq am_i^k. \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

Agar shart bajarilsa, ikkita agentning o'zaro ta'sirida yangi infektsiya ehtimoli mavjud:

bu erda elementar hodisa A - sog'lom agentning infektsiyalangan agent bilan o'zaro ta'siri $A \in W$, W - agentlarning o'zaro ta'siri paytida elementar hodisalar maydoni; elementar hodisa B - o'zaro

ta'siri natijasida infektsiyaning yuqishi $b \in \Omega$, Ω – yuqish paytida elementar hodisalar maydoni; $i = 1, n_k$, $j = 1, n_m$, n_k - berilgan turdagi ob'ektlar soni k , n_m - berilgan turdagi ob'ektlar soni m . i -chi turdagi ob'ektni almashtirish k bilan j -chi turdagi ob'ekt m ifodaga muvofiq infektsiya holati o'zgarganda sodir bo'ladi:

$$\begin{cases} (C_k)_i \rightarrow (C_k - \{c_i^k\})_{i+1} \\ (C_m)_i \rightarrow (C_m + \{c_j^m\})_{i+1} \end{cases}$$

Shunday qilib, agentga yo'naltirilgan yondashuv asosida infektsiyaning tarqalishini simulyatsiya qilish uchun har bir ob'ekt turi uchun dastlabki parametrlarni aniqlash kerak.

SamDTU
axborot-resurs markazi

XULOSA

Shuni ta'kidlash kerakki, infektsiyalarning tarqalishi muammosi dolzarb bo'lib qolmoqda va tarqalish tezligini pasaytirishi mumkin bo'lgan asosiy sabablar va omillarni aniqlashni talab qiladi. Ushbu ishda ushbu muammolarni hal qilish uchun ko'p agentli yondashuv yordamida infektsiyaning tarqalishining diskret modelidan foydalanish taklif etiladi. Modellashtirishda ishlatiladigan asosiy taxminlar ko'rsatilgan, agent yondashuvi asosida infektsiya tarqalishining simulyatsiya modeli rasmiylashtirilgan. Hisoblash tajribalari, hatto modelni sezilarli darajada soddalashtirishda ham (taxminlarda aks ettirilgan), tarqalish jarayonini o'rganishga imkon beradi. Shunday qilib, murakkab tizimning xatti-harakati uning tarkibiy ob'ektlarining o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladigan infektsiyalar va boshqa ijtimoiy jarayonlarning tarqalishini simulyatsiya qilish uchun ko'p agentli yondashuvni tavsiya etish mumkin.

So'zak (сифилис) infektsiyasida epidemik jarayonning rivojlanish qonuniyatlarini o'rganishda matematik modellashtirish imkoniyatlari

Mavzuni sharhlashda sifilisdagi epidemik jarayonni modellashtirishga yondashuvlar keltirilgan. Zamonaviy usullar orasida matematik modellashtirish jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalar kabi murakkab tizimni tadqiq qilishning eng kuchli vositalaridan biridir. Bu sizga epidemik tizimga ta'sir qilishning ko'proq alternativalarini ko'rib chiqishga, boshqaruv qarorlari sifatini sezilarli darajada yaxshilashga imkon beradi, ular bilan modelda tajriba o'tkazishga imkon beradi, bu ayniqsa "yadro guruhlari", demografik, ijtimoiy, xulq-atvor omillarining populyatsiyadagi kasalliklarga ta'sirini aniqlash uchun juda muhimdir. Matematik modellashtirish *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalarning* birlamchi va ikkilamchi profilaktikasini amalga oshirish uchun maqbul populyatsiyalarni tanlashda ajralmas bo'lishi mumkin.

Epidemik jarayonlar dinamikasini baholash uchun matematik tadqiqot usullarini jalb qilishning birinchi urinishlari D. Bernulli, W. Farr, P. L. ENK [1-3] nomlari bilan bog'liq. 1909 yilda, R. Ross [4]

infektsiyaning borishini bashorat qilish uchun infektsiya paydo bo'lishinig asosiy sababini o'rganishni taklif qildi, bu populyatsiyada paydo bo'lgan bitta bemor yuqtirishi mumkin bo'lgan bemorlar soni sifatida aniqlandi. XX asrning 20-yillarida buyuk Britaniyada analitik yondashuv yanada rivojlandi [5]. Birinchi kompyuterlar paydo bo'lishi bilan epidemiyani matematik modellashtirish bo'yicha ishlar soni ko'paydi, tobora murakkab modellar ishlab chiqila boshlandi, ular ko'pincha stoxastik (ehtimollik) xarakterga ega edi [6]. Jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalarning rivojlanish modellarini matematik tahlil qilish bo'yicha qilingan ishlar kam. Ehtimol, bu ularning epidemiologiyasining o'ziga xos xususiyatlari bilan bog'liq: aholi zichligiga chiziqli bog'liqlikning yo'qligi uzoq asemptomatik kurs ehtimoli, jinsiy faollik darajasi bo'yicha populyatsiyada heterojen guruhlarning mavjudligi [7]. Ko'pincha *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalar* uchun SIS (susceptible-infected-susceptible) modelining bir varianti ishlatiladi. Ushbu model kasallikka qarshi immunitet yo'qligini taxmin qiladi.

Teta - uni "sezgir — yuqtirilgan — sezgir" deb tarjima qilish mumkin. Birinchi marta H. Hethcote va U. Yorke [8] San-Frantsiskoda gonoreya epidemiyasini o'rganayotganda, yadro guruhi (core group) juda ko'p jinsiy aloqada bo'lgan gomoseksual erkaklarning subpopulyatsiyasi ekanligini aniqladilar. Bunday holda, "N" ning umumiy populyatsiyasini kichik guruhlarga bo'lish mumkin, ularning har biri i - vaqt birligidagi jinsiy sheriklar soniga ega: $N = Z \cdot N \cdot I$. muayyan vaqt ichida sheriklarni yuqtirish ehtimoli $I \cdot \lambda$, bu erda λ har qanday jinsiy sherikdan yuqtirish ehtimoli. XX asrning 80-yillari o'rtalarida OITS infektsiyasining paydo bo'lishi *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalarni* matematik modellashtirishga qiziqishni kuchaytirdi. R. Anderson va R. May oldingi mualliflarning matematik yondashuvini takomillashtirdilar. Ular an'anaviy ravishda quyidagi formula bilan belgilanadigan *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalarni* ko'payishini hisoblashning eng oddiy modelini taklif qilishdi: $RO = B \cdot C \cdot D$, bu erda (RO) -bitta asosiy holatdan kelib chiqadigan yangi infektsiyalarning o'rtacha soni (infektsiyaning asosiy reproduktiv darajasi); C-har bir yangi jinsiy sherik uchun infektsiyaning o'rtacha ehtimoli (yuqumli

kasallik); D-jinsiy yuqumli kasalliklar; C-vaqt birligida yangi jinsiy sheriklarni sotib olishning o'rtacha chastotasi. Ushbu matematik modeldan mualliflar bir nechta muhim xulosalar chiqarishdi.

1. Epidemiya zanjirini saqlab qolish va populyatsiyada jinsiy yo'l bilan yuqadigan kasalliklarning tarqalishi uchun miqdoriy jihatdan kichik guruhlar va sheriklarning tez o'zgarishi bilan tavsiflangan populyatsiya segmentlari (yadro guruhlari) asosiy ahamiyatga ega bo'lishi mumkin.

2. Infeksiya qo'zg'atuvchisi faqat bitta birlamchi infeksiyadan kelib chiqadigan yangi infeksiyalarning o'rtacha soni (ikkilamchi holatlar) 1 dan katta yoki unga teng bo'lsa, populyatsiyada tarqalishi va mavjud bo'lishi mumkin; aks holda, bir nechta ikkilamchi holatlar paydo bo'lgandan so'ng, yuqumli zanjir uziladi. 3. *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infeksiyalarni* tarqalishini nazorat qilish uchta yo'nalishda amalga oshirilishi mumkin: infeksiya davrini qisqartirish, infeksiya ehtimolini kamaytirish va infeksiya davomiyligini kamaytirish.

Bizda *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infeksiyalarga qarsh* nima bor? Ajablanarlisi shundaki, ushbu infeksiyalarning aksariyati yuqori yuqumli emas, ammo turli mualliflarning ko'rsatkichlari har xil.

J. Wasserheit va S. Aral [27] sifilisning turli shakllarida infeksiya ehtimoli (B) ga teng deb hisoblashadi 0,25—0,3—0,5. Yuqumli kasallikka ta'sir qiluvchi omillar (B) jinsiy sheriklar soni — C, jinsiy juftliklar bilan jinsiy harakatlar soni, jinsiy sheriklarning o'rtacha o'zgarish tezligi ($c = m \pm \sigma^2/m$), bu erda m — guruhdagi jinsiy sheriklarning o'rtacha soni [9]. Yuqumli kasallik, o'z navbatida, jinsiy aloqa texnikasiga bog'liq ("quruq jinsiy aloqa"), prezervativlardan foydalanish, virusli yukning kattaligi (OITS (ВИЧ) bilan) yoki juftlikda sifilisning klinik ko'rinishlarining mavjudligi [10]. Empirik koeffitsientlarni tanlashda bitta zaif nuqta bor: yuqumli kasallikni aniqlaydigan ko'rsatkichni tanlash, ya'ni sifilis bilan og'riqan bemor bilan aloqada bo'lgan odamlarning qancha qismini yuqtirganligini aniqlaydigan ko'rsatkich. Boshidanoq bu ko'rsatkich infeksiyaning klinik shakliga bog'liqligi aniq edi [11, 12]. Shu bilan birga, bir vaqtning o'zida epidemiya jarayonining dinamikasini aniqlaydigan ushbu ko'rsatkichlar bir qator ishlarda katta chegaralarda farq qiladi. O. T. Tesalova va uning hammualliflari. [13]

"o'rganilayotgan davrda mintaqadagi har yuz bemor bir yil davomida 58 dan 115 gacha yangi bemorlarni ko'paytirdi". Ba'zi ishlarda bu ko'rsatkich 60% da aniqlanadi [7]. G. L. Oksman va boshqalarning statistik ko'rsatkichlari bilan yanada qiyinroq. [12] mavjud adabiyot ma'lumotlariga asoslanib, birlamchi sifilida yuqish chastotasi ko'rsatkichi 0,3, ikkilamchi sifilida esa (o'z gipotezasiga ko'ra) 0,075 dan oshmaydi degan taxminni ilgari surgan. Gipoteza ushbu davrdagi sifilislarda "quruq" (toshmalar, alopesiya va limfadenopatiya), bemorlarning 30% dan kamrog'i yuqori yuqumli "nam" lezyonlarga ega ekanligiga asoslanadi.

Bundan tashqari, u "erta yashirin sifilis bilan og'rikan bemorlar umuman yuqumli emas, chunki ular immunitetga ega va sifilitik infeksiyaga moyil emas" deb ta'kidladi. Matematik modelning klinikadan va sifilitik infeksiyaning epidemiologiyasidan bunday uzilishi sezilarli tuzatishni talab qiladi. Sifilising matematik modelini yaratish uchun infeksiya tarqaladigan haqiqiy populyatsiyani o'rganish kerak. 58 ta epidemiya o'choqlari o'rganilib, epidemik jarayonga 624 ta sifilis va 289 ta sog'lom shaxslar jalb etilgan. Bunda infeksiya ehtimoli sifilising klinik shakliga bog'liq bo'lib, birlamchi sifilida 0,8; ikkilamchi sifilida 1,6; yashirin sifilida 3,5, barcha shakllarda o'rtacha 1,6 [14] ni tashkil etdi. Yuqumli davr (D) ba'zi mualliflar (R) tomonidan 24 oy ichida aniqlanadi, ba'zi ishlarda bu davr 6 oy [7]. 199 nafar sog'lom yoshlar o'rtasida o'tkazilgan so'rov asosida 1 yilda jinsiy sheriklar soni lo $1,4 \pm 0,2$ — ayollar uchun va $2,1 \pm 0,3$ — erkaklar uchun. Erkaklar uchun jinsiy faoliyatni boshlashning o'rtacha yoshi $17,0 \pm 0,25$ yosh va ayollar uchun $18,4 \pm 0,19$ yosh. So'rovda qatnashganlarning yosh tarkibi $25,3 \pm 0,45$ yosh — ayollar uchun, $24,7 \pm 0,68$ yosh — erkaklar uchun [15]. Epidemik o'choqlarda o'tkazilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, sifilis bilan og'rikan har bir bemor uchun o'rtacha jinsiy aloqa soni 2,9 ni tashkil etdi [14]. Ma'lumki, jinsiy sheriklar soni kuch qonuniga ko'ra kamayadi—bu parametrik bo'lmagan tarmoqlar uchun xosdir [16]. Yaqinda parametrik bo'lmagan tarmoqlarda epidemiya chegarasi yo'qligi ko'rsatildi, ya'ni bunday tarmoqqa bir marta kirib kelgan epidemiya, RO 1,0 dan kam bo'lsa ham, unda juda uzoq vaqt davomida mavjud bo'ladi [17]. Parametrik bo'lmagan tarmoqlar shuni ko'rsatadiki, oz

sonli odamlar juda ko'p jinsiy aloqaga ega. Ammo ularning sheriklari odatda kam jinsiy aloqada bo'lgan shaxslardir. Shuning uchun, agar biz ushbu bemorga kim yuqtirganini aniqlashga harakat qilsak, unda, qoida tariqasida, odatdagi jinsiy xulq-atvorga ega bo'lgan bir nechta sub'ektlar xavf guruhining vakillari bo'ladi [17]. G. L. Oksman va boshqalar. [12] matematik model sifilis epidemiyasining rivojlanishi va yo'q bo'lib ketishiga ta'sir qiluvchi sotsiologik va xulq-atvor omillarini chuqurroq o'rganish uchun o'zgartirildi. Ishda Anderson—May [6] tenglamasiga asoslangan, ma'lumotlardan foydalangan holda ko'p qismli iterativ kompyuter modeli ishlatilgan. Modellashtirish to'rt bosqichda amalga oshirildi. Birinchi bosqichda populyatsiyaning gipotetik ma'lumotlaridan foydalangan holda oraliq modellar sinovdan o'tkazildi — dasturlarni ishlab chiqish va natijalarga kuchli yoki zaif ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan modelning umumiy xususiyatlarini aniqlash. Ikkinchi bosqichda ushbu stsenariylarning qaysi biri epidemiya jarayonining tarqalishini keltirib chiqarishi yoki qo'llab-quvvatlashi mumkinligini aniqlash uchun to'rtta empirik dalillarga asoslangan populyatsiya stsenariylaridan foydalangan holda modellarni sinovdan o'tkazish. Uchinchi bosqichda, infeksiyaning tarqalishini qo'llab-quvvatlovchi modelning stsenariysi aniqlangandan so'ng, turli parametrlar ta'sir ko'rsatdi. Bularga jinsiy faollik darajasi yuqori bo'lgan guruhlarda jinsiy sheriklarning o'zgarishi soni va chastotasi, aholining immuniteti kiradi. Shuningdek, ular epidemiyaning yo'q bo'lib ketishining yana bir mumkin bo'lgan mexanizmini izlashdi. Ishlarning sonini hisoblash iterativ asosda amalga oshirildi, iteratsiya bir hafta davom etdi. Har bir model 208 marta takrorlandi (ya'ni 4 yil). Jins va jinsiy faoliyat bo'yicha malakali oltita guruhning har birida yangi holatlar soni alohida aniqlandi. Bitta takrorlashda har bir guruh infeksiya manbai bo'lib xizmat qilishi mumkin bo'lgan boshqa barcha guruhlar bilan o'zaro aloqada bo'lish uchun modellashtirilgan. Shu bilan birga, ular erkaklardan ayollarga yuqishini aks ettiruvchi 9 ta "to'plam" ni, ayollardan erkaklarga esa 9 ta "to'plam" ni olishdi. Ushbu "to'plamlar" ushbu guruhdagi erkaklar va uchta jinsiy faoliyat guruhining har birining ayollarini o'z ichiga olgan juftliklarning umumiy sonini olish uchun umumlashtirildi. Mualliflar modeldagi sifilitik infeksiyaning

epidemik tarqalishi jinsiy sheriklarning o'zgarishi chastotasining juda yuqori ko'rsatkichi (yiliga 300-400) bilan tavsiflangan kichik yadro guruhi qo'shilishi bilan keskin oshishini aniqladilar. Epidemiyaning yo'q bo'lib ketishi populyatsiyada immunitetning oshishi yoki yadro guruhidagi jinsiy sheriklarning o'zgarishi soni yoki chastotasidagi ba'zi o'zgarishlar natijasida yuzaga kelishi mumkin [12]. Mualliflarning u yoki bu yuqumli shaklga ega bo'lgan shaxslarning sifilitik infeksiyasiga qarshi immuniteti haqidagi taxminlari aniq tanqidga dosh berolmaydi. Ammo mualliflar buni immunitet immuniteti emas, balki Sifiliz bilan og'rikan odamlarning xatti-harakatlaridagi himoya o'zgarishlari bo'lishi mumkin deb hisoblamaydilar. Sifilis epidemiologiyasida "yadro guruhlari" ning muhim ahamiyati to'g'risida ushbu xulosa profilaktika dasturlarini aynan shu guruhlariga yo'naltirishga imkon beradi, bu erda "xulq-atvorning oldini olish choralarini" amalga oshirishni izlash kerak [18]. Shunday qilib, *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infeksiyalarni* tarqalishining oddiy modellaridan foydalanish epidemiyaning hajmini va uning rivojlanish xususiyatlarini baholashga, shuningdek yuqumli jarayonning rivojlanish xususiyatlarini hisobga olgan holda profilaktika strategiyasini belgilashga imkon beradi. O. T. Tesalova va boshqalar. [19] matematik apparatning negizida balans tipidagi tenglamani saqlab, sifilising oldini olish bo'yicha davolash-profilaktika muassasalari faoliyatining faolligini aks ettiruvchi toifalarni aniqlashga harakat qilib, nazariy yondashuvni sezilarli darajada to'ldirdi. Ushbu model quyidagi toifalarni ko'rib chiqdi: — mintaqaning sog'lom aholisi; — infeksiyadan ta'sirlangan mintaqa aholisi; - nazorat, davolash va nazorat ostida bo'lgan bemorlar. Nazorat ostida bo'lgan bemorlar mustaqil ravishda tibbiy muassasaga murojaat qilgan va faol ravishda aniqlangan bemorlarga bo'lindi. Shu bilan birga, ma'lum bir vaqt oralig'ida mustaqil ravishda murojaat qilganlar soni epidemik jarayonning haqiqiy dinamikasini aks ettirdi, faol aniqlangan bemorlarning soni sog'liqni saqlash organlarining faoliyati edi. Har bir diskret vaqt nuqtasida bloklar o'rtasida dinamik o'tish amalga oshiriladi. Birinchi blokdan ikkinchisiga o'tish jarayoniga quyidagi omillar ta'sir qiladi: - mintaqada aniqlanmagan bemorlar soni; - demografik ko'rsatkichlar:

jinsi va yosh tarkibi, mintaqa ichidagi migratsiya; — aholining madaniy darajasi; - profilaktika ko'rsatkichlari (birlamchi va ikkilamchi). Ikkinchi blokdan uchinchisiga o'tish jarayoni bemorlarni aniqlash uchun sog'liqni saqlash muassasalarining ko'rsatkichlari bilan aks etadi (xodimlar, yotoqxonalar, laboratoriya bilan ta'minlash). Model nisbat dinamikasini tavsiflovchi va mintaqadagi bemorlar sonining dinamikasini aks ettiruvchi balans tipidagi tenglamaga asoslangan edi: $X_{t+1} = X_t + E_t - V_t - W_t$, bu erda X_t - vaqtida aniqlanmagan bemorlar t soni; E_t - vaqt oralig'ida yangi kasallanganlar soni ($t, t+1$); V_t — intervalda ($t, t+1$) faol (DPM) aniqlangan bemorlar soni; W_t - intervalda ($t, t+1$) mustaqil ravishda tibbiy muassasaga murojaat qilgan bemorlar soni. Mustaqil ravishda murojaat qilgan shaxslarning kontingentini tavsiflashda mualliflar bemorlar uch guruhga bo'linganligidan kelib chiqdilar:

- a) ular mustaqil ravishda tibbiy muassasaga murojaat qilishadi;
- b) ular mustaqil ravishda murojaat qilishmaydi.

Ushbu guruhlarning doimiy tarkibiy korrelyatsiyasidan so'ng ($t, t+1$) — $X_t \cdot \beta$ oralig'ida mustaqil ravishda sog'liqni saqlash muassasalariga murojaat qiladigan bemorlar soni va mustaqil ravishda $X_t \cdot (1-\beta)$ ga murojaat qilmaydigan bemorlar soni olindi. Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, sifilisning o'ziga xos xususiyatlaridan biri bu latentlikning mavjudligi va alohida roli. Shu munosabat bilan modelning ko'plab parametrlarini to'g'ridan-to'g'ri o'lchash mumkin emas va faqat ularning bilvosita darajasi haqida gapirish mumkin. O. T. Tesalova va boshqalar. [19] model va Real ma'lumotlarning eng yaxshi taxminlari mamlakatning eng yirik mintaqalari uchun olingan deb hisoblashadi, bu ularning fikriga ko'ra ushbu mintaqalarda epidemiya jarayonining ko'proq "inertsiyasi", hisobga olinmagan omillarning, xususan mintaqalararo migratsiya omilining kamroq ta'siri bilan bog'liq. Mualliflarning fikriga ko'ra, bu nisbatan kichik mintaqalarda epidemiya jarayonining rivojlanishida ba'zi o'zgarishlarga olib keladigan mintaqalararo migratsiya. Migratsiyaga eng ko'p moyil bo'lgan bunday hududlar Real ma'lumotlar va modellarning kamroq yaqinlashishi bilan ajralib turadi, bu esa mintaqalararo migratsiya omilini joriy etish orqali ko'rsatilgan hududlarga nisbatan adekvatlikni oshirish maqsadida ularni yanada rivojlantirish zarurligiga olib keladi [19]. Bir qator

mualliflar umumiy statistik modellar asosida sifilis epidemiyasining rivojlanishini bashorat qilishni taklif qilishadi (eng ko'p ishlatiladigan korrelyatsiya va regressiya tahlillari). E. S. Krutskiy va boshqalar. [20] 15 yil davomida (1980-1995) Rossiyada sifilis bilan kasallanishning statistik materiallaridan 9-sonli raqamli material shaklida ("asosan jinsiy yo'l bilan yuqadigan kasalliklar, qo'ziqorin, teri kasalliklari va qoraqo'tirlar to'g'risida hisobot"), shuningdek, mamlakat aholisining jinsi va yosh guruhlari bo'yicha ma'lumotlar. Sifilis bilan kasallanish dinamikasini matematik modellashtirishda ketma-ket murakkablashib borayotgan modellarni ishlab chiqish qo'llanildi, bu erda organlar va sog'liqni saqlash muassasalarining kasallanishiga ta'sir qilish parametrlari hisobga olindi va kasallikning rivojlanishiga ta'sir qiluvchi ehtimoliy omillar qo'llanildi. Parametrlarni baholashda regressiya tahlili qo'llanildi, modellashtirish jarayonida sifilisning tarqalishiga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan turli xil boshqaruv holatlari taqlid qilindi.

Ko'pgina epidemik jarayonlarning dinamikasini aks ettiruvchi balans nisbati ishlatilgan, model haqiqiy statistik massivlarda tekshirilgan. Xuddi shunday yondashuv R. Kilmarx va boshqalarning ishlarida ham qo'llanilgan. [21], 1984-1993 yillar oralig'ida AQShda sifilis tarqalish dinamikasini o'rganganlar. ular sifilis tarqalishiga ta'sir qiluvchi 10 dan ortiq turli xil ijtimoiy omillarni o'rganishdi. G. I. Mavrov va boshqalar sifilis epidemiyasining tsiklikligiga qiziqarli tuzatish kiritishni taklif qilishdi. [22]. Mualliflar tomonidan taklif qilingan gipotetik jinsiy infektsiyaning modelida ikkita holat ko'rib chiqildi: infektsiyaning mavjudligi va uning yo'qligi. Odamlarning bir holatdan ikkinchisiga harakati analitik tarzda tasvirlangan. Ushbu harakatni oddiy differensial tenglamalar tizimi sifatida ifodalash mumkin, ularning har biri asosiy o'zgaruvchining ma'lum bir vaqtda boshqa o'zgaruvchiga nisbatan o'zgarishi xususiyatini ifodalaydi. Ushbu holatga kirishni ifodalovchi tenglama shartlari " + "belgisiga ega, va berilgan holatdan chiqishni ifodalovchi tenglama shartlari" – "belgisiga ega. Dy/dt funktsiyasi vaqt o'tishi bilan infektsiyalanganlar sonining (a shuning uchun kasallanish) o'zgarishini aks ettiradi. Ushbu a'zolarni chiqarish uchun mualliflar oqimlarga nisbatan bir qator taxminlar qildilar: masalan, infektsiyalanmagan tug'ilish holatiga kirish ushbu tenglamada b

belgisi bilan ko'rsatilgan, bu qiymat n populyatsiyasining kattaligi va r populyatsiyasining har bir o'rtacha a'zosining tug'ilish darajasi funktsiyasidir. o'zgarish, keyin tug'ilish darajasi r o'limga teng i , ya'ni $B=r-N$. Umuman olganda, infeksiyalanmagan x toifasidagi odam bir vaqtning o'zida jinsiy aloqada bo'ladi. Keyin infeksiyaga olib keladigan ushbu aloqalarning ulushi yuqtirilgan y/N populyatsiyasining nisbati va yuqtirgan C bilan yuqtirilmagan B bilan har bir aloqada yuqtirish ehtimoli. shuning uchun kasallanish (ma'lum bir vaqtda qishloqdagi hamma narsaga nisbatan kasallik holatlari soni) $x \cdot S \cdot B \cdot (Y/N)$ deb ta'riflanishi mumkin, a og'riq (sog'lom aholiga nisbatan holatlar soni) - $C \cdot B \cdot (Y/N)$ kabi. Yuqumli epidemiologiyada oxirgi qiymat ko'pincha a-infeksiyaning kuchi sifatida belgilanadi. Ushbu modelda tiklanish chastotasi infeksiya holatining davomiyligiga bog'liq bo'lmagan v infeksiya chastotasi konstantasi sifatida qabul qilinadi. Bu shuni ko'rsatadiki, yuqtirganlar soni infeksiyaning o'rtacha davomiyligi bilan eksponent ravishda kamayadi: $1/(v+i)$.

Taklif etilayotgan modelni o'zgaruvchilarning bunday muvozanati bilan analitik ravishda echish mumkin, bu erda o'zgarish tezligi nolga teng. Bir muvozanat holati kasallikning yo'qligi, ikkinchisi epidemik holat bo'lib, infeksiyaning har bir holati bir kishining yangi infeksiyasiga olib keladi [22]. Shu bilan birga, matematik modellashtirish bo'yicha ba'zi ishlarda kasallik patogenezini qonunlariga zid bo'lgan matematik yondashuvlar qabul qilinadi. Bizning fikrimizcha, sifilisning matematik modeli bilan ishlash simulyatsiya qilingan tuzilmalarni juda aniq klinik va patogenetik tushunishni talab qiladi. Xususan, G. Garnett va boshqalar. [23] juda munozarali taxminlar ishlatilgan: "sifilis bilan kasallanganidan so'ng, bemorlar kasallikning barcha bosqichlarini boshdan kechirdilar yoki o'ldilar", "odam davolangandan so'ng, ular yana sezgir shaxslar sinfiga kiradilar yoki immunitetga ega bo'ladilar, immunitet sinfiga o'tish orqali yuqtirish xavfi yo'q", "yashirin infeksiyani davolash ikkilamchi sifilis bilan kasallanishni oshiradi, ammo sifilisning dastlabki bosqichidagi kasallanish darajasiga ta'siri". Ishda mutlaqo noto'g'ri taxminlar mavjud: "yashirin holatlarni davolash sezgir shaxslar qatlamini to'ldiradi va, ehtimol, bemorlarning umumiy

sonining ko'payishiga olib keladi, shu bilan birga birlamchi va ikkilamchi sifilis holatlarining chastotasi".

Bu erda epidemik jarayonlarni rasmiylashtirishda aniq matematik apparat ustunlik qildi va Sifiliz patogenezini haqidagi tasavvurlar mantig'ini buzdi [24]. Epidemik zanjirlarni tahlil qilishda biz juda tez — bir nechta epidemik bog'lanishlar orqali — H. Hethcote va U. Yorke tomonidan ajratilgan yadro guruhlarini vakillari bilan uchrashamiz [8], ko'p sonli jinsiy aloqada bo'lgan va ro uchun katta ahamiyatga ega bo'lgan guruhlar — infeksiyaning asosiy soni. Shu bilan birga, keyingi yillarda yadro guruhi tushunchasining doirasi, shuningdek yadro guruhi va xavf guruhi tushunchalarining chegaralari xiralasha boshladi. Yadro guruhining kengaytirilgan tushunchasi mavjud. Jinsiy yo'l bilan yuqadigan yuqumli kasalliklar bo'yicha sotsiologik va madaniy nuqtai nazardan, yadro guruhlarini yuqtirgan yoki yuqtirilmagan shaxslarni bir xil jinsiy xatti-harakatlar bilan birlashtiradi, bu esa jinsiy yo'l bilan yuqadigan kasalliklarni yuqtirish va yuqtirish xavfini oshiradi (jinsiy aloqa ishchilari, haydovchilar).yo'lovchilar, chet elik ishchilar, so'nggi 12 oy ichida 5 dan ortiq jinsiy sheriklari bo'lgan shaxslar). Jinsiy yo'l bilan yuqadigan yuqumli kasalliklar epidemiologiyasining zamonaviy tushunchalari nuqtai nazaridan, jinsiy aloqa bilan shug'ullanadigan ishchilar va ularning mijozlari, gomoseksual yoki biseksual yo'nalishdagi erkaklar, ko'plab jinsiy sheriklarga ega bo'lganlar, tomir ichiga yuboriladigan giyohvand moddalarni iste'mol qiluvchilar infeksiyaning umumiy populyatsiyaga tarqalishining asosiy yadrosini tashkil qiladi [10]. Yadro guruhlarini shu qadar kengaytirish va ijtimoiy belgilash kerakmi, ayniqsa, ushbu ijtimoiy va professional guruhlarining barchasi bitta asosiy belgi — jinsiy sheriklarning tez-tez o'zgarishi bilan yuqori jinsiy faollik bilan birlashtirilganligi sababli? Tabiiy savol tug'iladi: sifilisning tarqalishi uchun nima muhimroq: populyatsiyaning o'zida jinsiy aloqa soni va turlari yoki ularning yadro guruhlaridagi xususiyatlari? Jinsiy aloqalar orqali bir-biri bilan bog'langan ko'plab sheriklari bo'lgan shaxslar orasida umumiy populyatsiyadagi odamlarning jinsiy aloqalari soni va turlarining nisbiy ahamiyati yadro guruhidagi jinsiy aloqalar soni va turi bilan taqqoslandi. Profilaktika dasturlarini ishlab chiqishda bu masalalar ancha munozarali bo'lib qoldi [10]. *jinsiy yo'l*

bilan yuqadigan infeksiyalar epidemiyasining uchta bevosita determinanti orasida quyidagi munosabatlar shakllanadi: B, C, D — umumiy populyatsiya yoki yadro guruhining jinsiy xatti-harakatlari populyatsiyada *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infeksiyalarni* tezligi va tarqalishini aniqlashda muhimroq bo'ladimi-yo'qligiga ta'sir qilishi mumkin. Aniqroq qilib aytadigan bo'lsak, yuqumli kasallik darajasi yuqori bo'lgan (B) va yuqumli davrning qisqa davomiyligi (D) bo'lgan jinsiy yo'l bilan yuqadigan kasalliklar uchun — gonoreya kabi — jinsiy yo'l bilan yuqadigan kasalliklarning tezligi va tarqalishini aniqlashda yadroviy guruhning jinsiy xatti-harakati muhimroqdir. Vitsinfeksiya va II turdagi herpes simplex virusi infeksiyasi kabi past yuqumli, ammo nisbatan uzoq yuqumli davr bo'lgan infeksiya uchun umuman aholining jinsiy xatti-harakatlari muhimroq bo'lishi mumkin [25, 26].

Bundan tashqari, "dinamik topologiya" modeli [27] o'sishning dastlabki bosqichlarida va epidemiyaning cheklangan past endemik bosqichlarida yadro guruhining xatti-harakatlari infeksiyaning tarqalish tezligini aniqlashda muhimroq ekanligini ta'kidlaydi. Sifilis epidemiologiyasi nuqtai nazaridan, yadro guruhlarining roli epidemiya davrida (tarmoq jarayoni ustunlik qiladi) emas, balki epidemiya boshlangan davrda va endemik (epidemiylararo) davrda o'sishi haqidagi tezis juda muhimdir. Aynan shu davrda sifilis bilan og'rikan bemorlar yadro guruhlarida to'plangan, ammo bu yadro guruhlarida yuqorida aytib o'tilgan ijtimoiy belgilar (xavf guruhlari) mavjudmi yoki bu bemorlarni faqat sifilisning yashirin kursi birlashtiradimi, aniq emas. Bunday guruhlarining shakllanishida immunitet, etnik, genetik, konstitutsiyaviy omillar katta rol o'ynashi mumkin [27-31]. Agar biz sifilisning klinik shaklini yadro guruhining belgilaridan biri deb hisoblasak, unda yuqumli kasallikning eng yuqori ko'rsatkichlari, jinsiy aloqalar soni erta yashirin sifilis bilan aniqlanadi [29]. Populyatsiyada sifilisning yashirin shakllarining to'planishi, populyatsiyadagi immunitetning o'zgarishi va ehtimol rangpar treponemaning virulentligidagi siklik o'zgarishlar global miqyosda sifilis bilan kasallanishning siklik (8-10 yil) o'zgarishiga asoslanadi [11, 24]. Shunday qilib, yadroviy guruhlarining populyatsiyada jinsiy yo'l bilan yuqadigan kasalliklarni saqlashdagi rolini o'rganish ularning epidemik roli haqida umumiy nuqtai nazarni

ishlab chiqishga imkon bermaydi. Shu bilan birga, tavsiflovchi ta'riflardan foydalanish (o'spirinlar, tijorat jinsiy aloqa xodimlari, gomoseksuallar va boshqalar) shubha tug'diradi [32, 33]. Bundan tashqari, ba'zi hududlarda infektsiyaning mavjudligini tushuntirib bera olmaydi. Bunday hollarda tarmoq modeli uning o'lchamlari ta'sirini tavsiflovchi, xoch turini, raqobatbardosh munosabatlar darajasini va vaqt o'tishi bilan infektsiyaning davomiyligini aniqlaydigan holda qo'llaniladi. Tarmoqning kattaligi va uning tuzilishi bir vaqtning o'zida sheriklar bilan bir-biriga bog'langan kichik guruhlarining doimiy shakllanishi va parchalanishi orqali infektsiyaning barqarorligini ta'minlaydi. Biroq, tijorat jinsiy aloqa ishchilari, gomoseksuallar va o'smirlarning jinsiy turmush tarzini hisobga olgan holda, tadqiqotlar ushbu guruhlariga "yuqori jinsiy xavf tarmoqlari" sifatida e'tibor qaratishi mumkin, ular populyatsiyadagi boshqa shaxslarga qaraganda ushbu toifalar a'zolari atrofida ko'proq shakllanadi [34— 37]. Yadro guruhlarida *jinsiy yo'l bilan yuqadigan infektsiyalar* xavfning tarqalishini o'lchash va tavsiflash istagi ba'zi tadqiqotchilarni yadro guruhining o'lchamlari kabi parametrlarini o'lchashga olib keldi

ADABIYOTLAR

1. Улыбин А.В. Математическая модель распространения инфекции // Вестник ТГУ. 2011. Т. 16. № 1. С. 184—187.
2. Мезенцева Л.В., Перцов С.С. Математическое моделирование в биомедицине // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. XX. № 1. С. 11.
3. Балантер Б.И., Ханин М.А., Чернавский Д.С. Введение в математическое моделирование патологических процессов. М.: Медицина, 1980. 262 с.
4. Белоцерковский О.М., Холодов А.С. Компьютерные модели и прогресс медицины. М.: Наука, 2001. 300 с.
5. Леоненко В.Н. Математическая эпидемиология: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. СПб.: Университет ИТМО, 2018. 38 с.
6. Енько П.Д. О ходе эпидемий некоторых заразных болезней // Врач. 1889. 46—48.
7. Бейли Н. Математика в биологии и медицине. М.: Мир. 1970. 327 с.
8. Бароян, О.В. Моделирование и прогнозирование эпидемий гриппа на территории СССР / О.В. Бароян, Л.А. Рвачев, Ю.Г. Иванников. — М., 1977. — 546 с.
9. Бароян, О.В. Прогнозирование эпидемий гриппа в условиях СССР / О.В. Бароян, Л.А. Рвачев // Вопросы вирусологии. — 1978. — № 2. — С. 131–137.
10. Бокс, Дж. Анализ временных рядов прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. — М.: Мир, 1974. — 200 с.
11. Кизим, Н.А., Доровской А.В. Анализ и прогнозирование тенденций заболеваемости населения Украины и Харьковской области / Н.А.
12. Кизим, А.В. Доровской // Проблемы экономики. — 2010. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-prognozirovanie-tendentsiyzabolevayemosti-naseleniya-ukrainy-i-harkovskoy-oblasti> (дата обращения: 21.04.2021).
13. Ковалев, С.В. Мультиагентное моделирование распространения эпидемий /

14. С.В. Ковалев, Рюмин Н.Н., Ковалева О.А., Сидляр М.Ю., Хромова Т.А. // Вестник технологического университета. — 2021. — Т.24. — №1. — С. 91-97.

15. Кондратьев, М.А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний // Компьютерные исследования и моделирование. — 2013. — Т. 5. — № 5. — С. 863–882.

16. Овсянников, Д.А. Моделирование и оптимизация динамики пучков заряженных частиц. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. — 312 с.

17. Хартл, Г. Смертность от респираторных заболеваний, связанных с сезонным гриппом // Всемирная организация здравоохранения. — 2017. — URL: <https://www.who.int/ru/news/item/14-12-2017-up-to-650-000-people-die-ofrespiratory-diseases-linked-to-seasonal-flu-each-year> (дата обращения: 14.04.2021).

**E.Kh.Bozorov, A. E.Kubayev, D.A.Ashurova, Sh.E.Khojiyev,
M.E.Khojiyeva, D.A.Qalandarova**

**YUQUMLI KASALLIKLAR EPIDEMIOLOGIYASIDA MATEMATIK
MODELLASHTIRISH VA BASHORAT QILISH**

O'quv-uslubiy qo'llanma

Muharrir: S.Karimova
Musahhih: Z.Usmanova
Tex.muharrir: M.Sattarova

© "Samarqand davlat chet tillar instituti" nashriyoti,
140104, Samarqand sh., Bo'stonsaroy ko'chasi, 93.

Nashriyot tasdiqnomasi:
№ 1243-7560-5999-432c-2125-1811-8655

Bosmaxona litsenziyasi:



4268

Bosishga ruxsat etildi: 15.01.2024.
Ofset bosma qog'oz. Qog'oz bichimi 60x84_{1/16}.
"Times New Roman" garniturası. Ofset bosma usuli.
Hisob-nashriyot t.: 2,1. Shartli b.t.: 1,3.
Adadi: 50 nusxa. Buyurtma № 15/01.

SamDCHTI nashr-matbaa markazida chop etildi.
Samarqand sh., Bo'stonsaroy ko'chasi, 93-uy.



