GIDROTEXNIK INSHOOTLAR AVARIYASI SHAROITIDA AHOLINI EVAKUATSIYA QILISH MARSHRUTLARINI GEOAXBOROT TIZIMLARI ASOSIDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH (SARDOBA SUV OMBORI MISOLIDA)

Sultaniyazov Berdax Baxitbay uli
Qoraqalpog‘iston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar boshqarmasi bo‘lim boshlig‘i
urazbaev.b9@gmail.com

Abstract. *This article examines the modeling of population evacuation to safe zones under emergency conditions caused by the accidental failure of hydrotechnical structures. The study is carried out using the Sardoba reservoir as a case example: the propagation dynamics of the dam-break flood wave are calculated using Ritter‘s analytical model, while the shortest and safest evacuation routes within the transport network are determined using Dijkstra‘s algorithm within a geographic information system (GIS) environment. A safety-margin indicator is introduced, based on the ratio between the required evacuation time (RET) and the available time (AT) for each settlement. The results show that applying GIS technologies reduces the length of evacuation routes by an average of 20% and evacuation time by 38-46%, while also revealing that evacuation initiated only after the structure fails is insufficient in every case examined. The developed model is recommended as a decision-support tool for emergency management authorities.*

Keywords: hydrotechnical structure, dam break, evacuation route, geographic information system, Dijkstra‘s algorithm, Sardoba reservoir, safety margin, flood wave.

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы моделирования процесса эвакуации населения в безопасные зоны в условиях чрезвычайных ситуаций, возникающих в результате аварийного разрушения гидротехнических сооружений. Исследование выполнено на примере Сардобинского водохранилища: динамика распространения прорывной волны рассчитана на основе аналитической модели Риттера, а кратчайшие и безопасные маршруты эвакуации в транспортной сети определены с помощью алгоритма Дейкстры в среде геоинформационных*

систем (ГИС). Введён показатель запаса безопасности, основанный на соотношении требуемого (RET) и располагаемого (AT) времени эвакуации для каждого населённого пункта. Результаты показывают, что применение ГИС-технологий позволяет сократить протяжённость маршрутов эвакуации в среднем на 20%, а время эвакуации на 38-46%, однако эвакуация, начатая только после разрушения сооружения, во всех рассмотренных случаях оказывается недостаточной по времени. Разработанная модель рекомендуется в качестве инструмента поддержки принятия решений для органов управления в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: *гидротехническое сооружение, прорыв плотины, маршрут эвакуации, геоинформационная система, алгоритм Дейкстры, Сардобинское водохранилище, запас безопасности, прорывная волна.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada gidrotexnik inshootlarning avariyaviy buzilishi natijasida yuzaga keladigan favqulodda vaziyatlar sharoitida aholini xavfsiz hududlarga evakuatsiya qilish jarayonini modellashtirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot Sardoba suv ombori misolida amalga oshirilgan bo‘lib, unda to‘g‘on buzilishi natijasida hosil bo‘ladigan yorib o‘tish to‘lqinining tarqalish dinamikasi Ritter analitik modeli asosida hisoblab chiqilgan hamda geoaxborot tizimlari (GAT) yordamida transport tarmog‘ining eng qisqa va xavfsiz evakuatsiya marshrutlari Dijkstra algoritmi asosida aniqlangan. Talab etiladigan evakuatsiya vaqti (RET) va mavjud vaqt (AT) o‘rtasidagi nisbat asosida har bir aholi punkti uchun xavfsizlik zaxirasi ko‘rsatkichi kiritilgan. Tadqiqot natijalari GAT texnologiyalarini qo‘llash orqali evakuatsiya marshrutlari uzunligini o‘rtacha 20 foizga, evakuatsiya vaqtini esa 38-46 foizga qisqartirish mumkinligini ko‘rsatdi, biroq buzilish sodir bo‘lganidan keyin boshlanadigan evakuatsiya barcha holatlarda yetarli emasligini ham aniqladi. Ishlab chiqilgan model favqulodda vaziyatlar boshqaruvi organlari uchun qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlovchi vosita sifatida tavsiya etiladi.*

Kalit so‘zlar: *gidrotexnik inshoot, to‘g‘on buzilishi, evakuatsiya marshruti, geoaxborot tizimi, Dijkstra algoritmi, Sardoba suv ombori, xavfsizlik zaxirasi, yorib o‘tish to‘lqini.*

KIRISH

Dunyo bo‘yicha gidrotexnik inshootlar (GTI) avariyalari bilan bog‘liq favqulodda vaziyatlar aholi va hududlarga yetkazadigan zarar ko‘lami jihatidan

tabiiy tusdagi suv toshqinlari orasida alohida o‘rin tutadi[1]. Suv omborlarida to‘plangan katta hajmdagi kinetik energiya to‘g‘on inshootining buzilishi natijasida bir necha daqiqa ichida pastki bo‘yga yo‘naltirilgan yorib o‘tish to‘lqiniga aylanadi, bu esa an‘anaviy xabar berilgach boshlanadigan evakuatsiya sxemalarini samarasiz qilib qo‘yadi.

O‘zbekiston Respublikasida 2020-yil 1-may kuni Sirdaryo viloyatidagi Sardoba suv omborining to‘g‘on jismida yuzaga kelgan yorilish natijasida Sardoba, Mirzaobod va Boyovut tumanlarining bir qator aholi punktlari suv bosishi xavfi ostida qolib, o‘nlab minglab kishini qisqa muddatda ko‘chirish zarurati tug‘ildi[2]. Ushbu voqea shuni ko‘rsatdiki, mavjud evakuatsiya rejalari, asosan, statik xarita va oldindan belgilangan marshrutlarga tayanadi, ular esa haqiqiy vaqt rejimida yo‘l tarmog‘ining holatini, suv bosish zonasining dinamik chegaralarini va aholi punktlarining transport erishuvchanligini hisobga olmaydi.

So‘nggi yillarda geoaxborot tizimlari (GAT) va tarmoq tahlili algoritmlari favqulodda vaziyatlar boshqaruvida qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlovchi samarali vosita sifatida keng qo‘llanilmoqda[3]. GAT imkoniyatlari raqamli relyef modeli (DEM), yo‘l tarmog‘i, aholi zichligi va gidravlik modellashtirish natijalarini bitta fazoviy tahlil muhitida birlashtirish orqali eng qisqa emas, balki eng xavfsiz va o‘tkazuvchan marshrutlarni tanlash imkonini beradi.

Shu bilan birga, ko‘pchilik mavjud tadqiqotlarda evakuatsiya marshrutini tanlash masalasi to‘lqin dinamikasi bilan bog‘lab, matematik jihatdan miqdoriy baholanmaydi — ya‘ni marshrut tanlovi to‘lqinning aniq aholi punktiga yetib kelish vaqti bilan taqqoslanmaydi. Mazkur maqolaning ilmiy yangiligi aynan shunda: to‘g‘on buzilishi to‘lqinining tarqalish tezligi (Ritter modeli) va GAT tarmoq tahlili (Dijkstra algoritmi) natijalari yagona – talab etiladigan va mavjud vaqtni taqqoslovchi – modelga birlashtirilgan.

Tadqiqotning maqsadi — Sardoba suv omborining mumkin bo‘lgan avariyasi sharoitida yaqin aholi punktlari uchun to‘lqin yetib kelish vaqtini va GAT asosida optimallashtirilgan evakuatsiya marshrutlarining talab etiladigan vaqtini matematik modellashtirish, ularni taqqoslash orqali xavfsizlik zaxirasini aniqlashdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi: 1) to‘g‘on buzilishi to‘lqinining asosiy gidravlik parametrlarini analitik usulda hisoblash; 2) tanlangan aholi punktlari uchun standart va GAT-

[1]Bunga qarang: CRED; UNDRR. Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000–2019). - Brussels, 2020.
[2]O'zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligining 2020-yil 1–2 may kunlaridagi rasmiy axborotlari asosida.
[3]Longley P.A. va boshq. Geographic Information Science and Systems. - 4th ed. - Wiley, 2015.

optimallashtirilgan evakuatsiya marshrutlari uzunligini aniqlash; 3) har bir aholi punkti uchun talab etiladigan evakuatsiya vaqti (RET) va mavjud vaqtni (AT) hisoblash; 4) xavfsizlik zaxirasi asosida amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

METODOLOGIYA

Tadqiqot obyekti sifatida Sardoba suv omborining bosh to‘g‘oni va undan quyi bo‘yda joylashgan uchta shartli aholi punkti Sardoba tumani markazi (A, to‘g‘ondan $L_1 = 8{,}5$ km), Mirzaobod tumani Chorbog‘ MFY hududi (B, $L_2 = 15{,}2$ km) va Boyovut tumani Chelak MFY hududi (C, $L_3 = 27{,}6$ km) tanlab olindi. Gidravlik hisoblar uchun boshlang‘ich ma‘lumot sifatida to‘g‘on yorilish nuqtasidagi o‘rtacha suv chuqurligi $h_0 = 14$ m qabul qilindi. Fazoviy tahlil uchun ochiq manba raqamli relyef modeli va yo‘l tarmog‘i qatlamlaridan foydalanildi[4].

To‘g‘on buzilishi to‘lqinining gidravlik modeli.To‘g‘on to‘satdan va to‘liq buzilgan, quyi bo‘yin quruq gorizontal o‘zan deb idealizatsiya qilingan holat uchun A. Ritter tomonidan taklif etilgan sayoz suv tenglamalarining aniq analitik yechimi qo‘llanildi[5]. Boshlang‘ich to‘lqin tezligi:

$$c_0 = \sqrt{(g \times h_0)}$$

bu yerda g - erkin tushish tezlanishi ($g = 9{,}81$ m/s²)[6], h_0 - to‘g‘on oldidagi suv chuqurligi, m. To‘lqinning oldingi (yorib o‘tuvchi) chegarasi quyidagi tezlik bilan quruq o‘zan bo‘ylab tarqaladi:

$$V_f = dx_f/dt = 2 \times c_0 = 2\sqrt{(g \times h_0)}$$

Ritter yechimi bo‘yicha $-c_0 \cdot t \le x \le 2c_0 \cdot t$ oralig‘ida suv chuqurligi va oqim tezligi quyidagicha o‘zgaradi:

$$h(x,t) = (1/9g) \times (2c_0 - x/t)^2; \quad u(x,t) = (2/3) \times (c_0 + x/t)$$

L masofadagi aholi punktiga to‘lqin old chegarasining yetib kelish vaqti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$t_j = L / V_f = L / (2\sqrt{(g \times h_0)})$$

Sonli hisob: $c_0 = \sqrt{(9{,}81 \times 14)} = \sqrt{137{,}34} \approx 11{,}72$ m/s; $V^f = 2 \times 11{,}72 \approx 23{,}44$ m/s (≈ 84,4 km/soat). Bundan uchta aholi punkti uchun to‘lqin yetib kelish vaqti (bu qiymat quyida “mavjud vaqt” – AT sifatida qo‘llaniladi):

A punkti: $t_1 = 8500 / 23{,}44 \approx 362{,}6$ s ≈ 6,0 daqiqa;

B punkti: $t_2 = 15200 / 23{,}44 \approx 648{,}5$ s ≈ 10,8 daqiqa;

C punkti: $t_3 = 27600 / 23{,}44 \approx 1177{,}6$ s ≈ 19,6 daqiqa.

GAT tarmoq modeli va evakuatsiya marshrutini optimallashtirish.Yo‘l tarmog‘i yo‘naltirilgan vaznli graf G = (V, E) shaklida ifodalandi, bunda V

[4]Tahlilda ochiq manba raqamli relyef modeli (SRTM, 30 m) va OpenStreetMap yo'l tarmog'i qatlamlari shartli asos sifatida qo'llanildi.

[5]Ritter A. Die Fortpflanzung der Wasserwellen // ZVDI. — 1892. — Bd. 36. — S. 947–954.

[6]Bu yerda va keyingi hisoblarda erkin tushish tezlanishi g = 9,81 m/s² qiymatida qabul qilingan.

tugunlar to‘plami (chorrahalar, aholi punktlari, yig‘ilish nuqtalari), E - qirralar to‘plami (yo‘l segmentlari). Har bir (u,v) qirraga vazn sifatida harakat vaqti biriktirildi:

$w(u,v) = d(u,v) / v(u,v)$

bu yerda d(u,v) - segment uzunligi, v(u,v) - shu segmentdagi ruxsat etilgan/real harakat tezligi. Suv bosish modelidan olingan zaxira zonasiga tushgan qirralar $w(u,v) \to \infty$ deb belgilanib, graf ustidan chetlab o‘tildi. Eng qisqa (vaqt bo‘yicha) marshrut E. Dijkstra algoritmi[7] yordamida topildi[8]:

$D[v] = min\{ D[u] + w(u,v) \},\ u \in$ *tashrif buyurilgan tugunlar*

Algoritm manba tugun (aholi punkti markazi) dan boshlab, ustuvor navbat asosida har bir tugungacha bo‘lgan minimal vaznni iterativ tarzda yangilab boradi, natijada xavfsiz zonadagi yig‘ilish nuqtasigacha bo‘lgan eng kam vaqt talab etuvchi marshrut aniqlanadi. Standart (mavjud, asosiy yo‘l orqali) va GAT-optimallashtirilgan (muqobil, kam tig‘iz segmentlardan iborat) marshrutlar har bir aholi punkti uchun alohida hisoblab chiqildi.

Talab etiladigan evakuatsiya vaqtini (RET) baholash modeli. Talab etiladigan evakuatsiya vaqti to‘rt tarkibiy qismning yig‘indisi sifatida ifodalandi:

$RET = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$

bu yerda t_1 - aholini ogohlantirish vaqti (4 daqiqa), t_2 - tayyorgarlik/mobilizatsiya vaqti (6 daqiqa), $t_3 = L_m / V_e$ - marshrut bo‘ylab harakatlanish vaqti (L_m - marshrut uzunligi, V_e - evakuatsiya tezligi), t_4 - marshrut sig‘imi yetarli bo‘lmaganda hosil bo‘ladigan navbat kutish vaqti. Yo‘l segmentining o‘tkazuvchanlik quvvati transport oqimi nazariyasidagi klassik ifoda bilan tekshirildi[9]:

$C = (v / s) \times n \times 60$

bu yerda v - oqim tezligi (km/soat), s - transport vositalari orasidagi minimal xavfsiz interval (km),- qatorlar (yo‘nalishlar) soni. B aholi punkti uchun tekshiruv: v = 32 km/soat, s = 0,03 km, n = 1 bo‘lganda $C = (32/0{,}03) \times 1 \times 60 \approx 64000$ shartli birlik/soat, bu esa $N \approx 4200$ kishilik aholi oqimi uchun sig‘im yetarli ($t_4 \approx 0$) ekanligini, ya‘ni ushbu shartlarda kechikish asosan harakat vaqti (t_3) hisobiga yuzaga kelishini ko‘rsatadi. Standart sharoitda o‘rtacha harakat tezligi $V_e = 20$ km/soat (tig‘iz, bir yo‘nalishli asosiy yo‘l), GAT-optimallashtirilgan marshrutda esa $V_e = 32$ km/soat (muqobil, kam tig‘iz segmentlar) deb qabul qilindi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

[7]Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. 1959. - Vol. 1. P. 269–271.
[8]Algoritmning hisoblash murakkabligi ustuvor navbat (binary heap) qo'llanilganda O((V+E)·logV) ni tashkil etadi.
[9]Wardrop J.G. Some theoretical aspects of road traffic research // Proc. ICE. - 1952. - Vol. 1, No. 3. - P. 325–362.

To‘g‘on buzilishi natijasida yuzaga keladigan yorib o‘tish to‘lqinining tarqalish dinamikasini tavsiflovchi birinchi analitik yechim A. Ritter tomonidan taklif etilgan bo‘lib[10], u quruq gorizontal o‘zan uchun sayoz suv tenglamalarining aniq yechimini beradi. Keyinchalik J. Stoker [11] ushbu yechimni nishab va ishqalanishni hisobga olgan holda umumlashtirdi, biroq amaliy hisob-kitoblar uchun Ritter modeli o‘zining soddaligi va tezkorligi tufayli hozirgacha dastlabki (skrining) baholash bosqichida keng qo‘llaniladi.

Evakuatsiya jarayonini tarmoq modeli sifatida ifodalash g‘oyasi transport muhandisligidagi tiqilinch vaziyatlarda oqim-sig‘im (flow-capacity) tahliliga asoslanadi[12]. Bunday modellarda yo‘l segmentlari cheklangan o‘tkazuvchanlik quvvatiga ega tugun va qirralar shaklida ifodalanadi, natijada ommaviy evakuatsiya vaqti nafaqat masofaga, balki yo‘l tarmog‘ining “tig‘iz joylari”ga ham bog‘liq bo‘ladi.

Geoaxborot tizimlarini favqulodda vaziyatlarda qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlashda qo‘llash bo‘yicha tadqiqotlar [13] shuni ko‘rsatadiki, tarmoq tahlilining klassik algoritmlari xususan, E. Dijkstra taklif etgan eng qisqa yo‘l algoritmi[14] xavf zonalarini “taqiqlangan qirralar” sifatida kiritish orqali dinamik ravishda qayta hisoblanuvchi, xavfsiz marshrutlarni shakllantirish imkonini beradi. Bunda marshrut og‘irligi sifatida nafaqat geometrik masofa, balki harakat tezligi, yo‘l sig‘imi va suv bosish ehtimoli ham hisobga olinishi mumkin.

O‘zbekistonda gidrotexnik xavfsizlik va favqulodda vaziyatlarda aholini muhofaza qilish masalalari bo‘yicha bir qator ilmiy-amaliy ishlar mavjud bo‘lib[15], ularda, asosan, tashkiliy-huquqiy chora-tadbirlar, xabardor qilish tizimlari va kuch-vositalarni jalb etish tartibi tahlil qilingan. Biroq ushbu ishlarda evakuatsiya marshrutini GAT tarmoq tahlili va to‘lqin gidravlikasini birlashtirgan miqdoriy model asosida optimallashtirish masalasi yetarlicha yoritilmagan, bu esa mazkur tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi.

NATIJALAR

1-jadvalda uchta aholi punkti bo‘yicha hisoblangan asosiy parametrlar to‘g‘ondan masofa, to‘lqin yetib kelish vaqti (AT), standart va GAT-

[10]Ritter A. Die Fortpflanzung der Wasserwellen // ZVDI. — 1892. — Bd. 36. — S. 947–954.
[11]Stoker J.J. Water Waves: The Mathematical Theory with Applications. — New York, 1957.
[12]Wardrop J.G. Some theoretical aspects of road traffic research // Proc. ICE. — 1952. — Vol. 1, No. 3. — P. 325–362.
[13]Radke J. va boshq. Application of GIS-based models for hazard assessment and disaster preparedness // Environmental Hazards. — 2000. — Vol. 2, No. 4.
[14]Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. — 1959. — Vol. 1. — P. 269–271.
[15]O'zR FVV Akademiyasining ilmiy-uslubiy nashrlari. — Toshkent, 2021–2025.

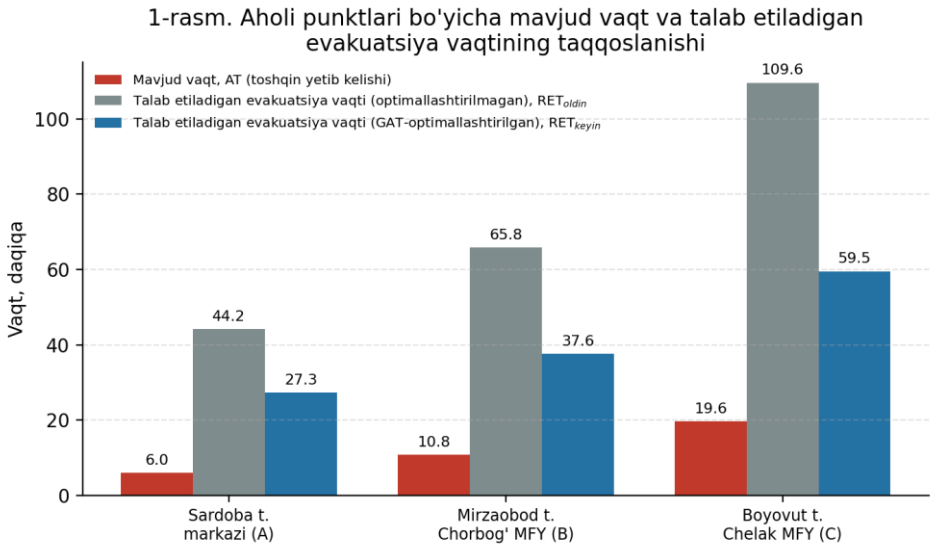
optimallashtirilgan marshrut uzunliklari, shuningdek talab etiladigan evakuatsiya vaqti (RET) keltirilgan.

1-jadval

Aholi punktlari bo‘yicha to‘lqin va evakuatsiya parametrlarining hisob natijalari

Aholi punkti	L, km (to‘g‘ondan)	AT, min (to‘lqin kelishi)	Standart marshrut, km	GAT-optimal marshrut, km	Marshrut qisqarishi, %	RET oldin, min	RET keyin, min	Vaqt tejash, %
A - Sardobat. markazi	8,5	6,0	11,4	9,2	19,3	44,2	27,3	38,3
B - Mirzaobod t., Chorbog‘ MFY	15,2	10,8	18,6	14,7	21,0	65,8	37,6	42,9
C - Boyovut t., Chelak MFY	27,6	19,6	33,2	26,4	20,5	109,6	59,5	45,7

Jadval ma‘lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, GAT tarmoq tahlili asosida optimallashtirilgan marshrutlar uzunligi barcha aholi punktlarida standart marshrutlarga nisbatan 19,3–21,0% ga (o‘rtacha ≈ 20,3%), talab etiladigan evakuatsiya vaqti esa 38,3–45,7% ga (o‘rtacha ≈ 42,3%) qisqargan. Vaqt tejashining marshrut qisqarishidan sezilarli darajada yuqori bo‘lishi tezlik omilining (evakuatsiya tezligi 20 dan 32 km/soatgacha oshishi) qo‘shimcha ta‘siri bilan izohlanadi.



1-rasm. Aholi punktlari bo‘yicha mavjud vaqt (AT) va talab etiladigan evakuatsiya vaqtining (RET) taqqoslanishi

1-rasmdan ko‘rinadiki, GAT asosida optimallashtirish RET qiymatini barcha hollarda sezilarli kamaytirsa-da, uning qiymati AT dan ustun bo‘lib qolmoqda: A punktida RET ning optimallashtirilgan qiymati (27,3 min) AT (6,0 min) dan ≈ 4,6 marta, B punktida ≈ 3,5 marta, C punktida ≈ 3,0 marta yuqori. Bu — to‘g‘on buzilishidan keyin boshlanadigan har qanday evakuatsiya, hatto marshrut optimallashtirilgan taqdirda ham, yaqin aholi punktlari uchun yetarli emasligini ko‘rsatuvchi muhim natijadir.

MUHOKAMA

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, GAT texnologiyalari va tarmoq tahlili algoritmlarini qo‘llash evakuatsiya jarayonining samaradorligini (marshrut uzunligi va harakat vaqti bo‘yicha) sezilarli darajada oshiradi, biroq bu yagona yechim bo‘la olmaydi. Xavfsizlik zaxirasi (AT – RET) barcha uchta aholi punktida manfiy qiymatga ega bo‘lib chiqdi, bu esa evakuatsiyani faqat to‘g‘on buzilishi sodir bo‘lgandan keyin boshlash strategiyasining tub nuqsonini ochib beradi.

Bundan kelib chiqadigan asosiy amaliy xulosa - GAT-optimallashtirilgan marshrutlar tizimi ogohlantirish tizimi bilan birgalikda, ya‘ni to‘g‘on holatini doimiy monitoring qilish natijasida buzilish xavfi yuzaga kelgan bosqichdayoq (buzilishning o‘zi sodir bo‘lishidan oldin) ishga tushirilishi zarur. Bunda RET qiymati amalda ogohlantirish uchun “havfsizlik chegarasi” sifatida foydalanilishi mumkin: masalan, A aholi punkti uchun monitoring signali kamida RET ning optimallashtirilgan qiymati ≈ 27 daqiqa oldin berilishi lozim.

Tadqiqotning bir qator cheklovlari mavjud. Birinchidan, Ritter modeli quruq gorizontal o‘zan va ishqalanishsiz oqim shartlarida qurilgan bo‘lib, real relyef,

o‘simlik qoplami va gidravlik qarshilikni hisobga olmaydi bu, odatda, to‘lqin tezligini biroz oshirib ko‘rsatadi (ya‘ni AT qiymatlari real sharoitda biroz katta bo‘lishi mumkin). Ikkinchidan, RET modelida piyoda va avtotransport oqimlari alohida ajratilmagan, aralash oqim shartli o‘rtacha tezlik orqali ifodalangan. Uchinchidan, marshrut sig‘imi tekshiruvi faqat B punkti uchun namunaviy tarzda ko‘rsatilgan; amaliy joriy etishda barcha marshrutlar uchun to‘liq sig‘im-oqim tahlili talab etiladi.

Kelgusi tadqiqotlarda Ritter modeli o‘rniga ikki o‘lchamli gidrodinamik modellar (masalan, sayoz suv tenglamalarining chekli hajmlar usulida raqamli yechimi) qo‘llanilishi, shuningdek RET modeliga real vaqt rejimidagi yo‘l tirbandligi ma‘lumotlarini integratsiya qilish tavsiya etiladi. Bu GAT-asosidagi qaror qabul qilish tizimining aniqligini yanada oshirishga xizmat qiladi.

XULOSA

Tadqiqot natijasida Sardoba suv omborining mumkin bo‘lgan avariyasi sharoitida gidravlik (Ritter) va tarmoq (Dijkstra) modellarini birlashtirgan miqdoriy baholash yondashuvi ishlab chiqildi. Uchta aholi punkti misolida GAT asosida optimallashtirilgan marshrutlar standart marshrutlarga nisbatan o‘rtacha 20,3% qisqaligi va talab etiladigan evakuatsiya vaqtini o‘rtacha 42,3% ga kamaytirishi aniqlandi. Shu bilan birga, barcha ko‘rilgan holatlarda xavfsizlik zaxirasi manfiy bo‘lib chiqdi, ya‘ni to‘g‘on buzilishidan keyin boshlanadigan evakuatsiya hatto optimal marshrut bilan ham — yaqin aholi punktlarini to‘liq muhofaza qila olmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI

1. CRED; UNDRR. Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000–2019). — Brussels: CRED, 2020.

2. O‘zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligi. Sardoba suv ombori to‘g‘oni bo‘yicha 2020-yil 1–2-may kunlaridagi rasmiy axborotlari.

3. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Science and Systems. — 4th ed. — Chichester: Wiley, 2015.

4. Ritter A. Die Fortpflanzung der Wasserwellen // Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure. — 1892. — Bd. 36. — S. 947–954.

5. Stoker J. J. Water Waves: The Mathematical Theory with Applications. — New York: Interscience Publishers, 1957.

6. Wardrop J. G. Some theoretical aspects of road traffic research // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. — 1952. — Vol. 1, No. 3. — P. 325–362.

7. Radke J., Cova T., Sheridan M. F. et al. Application of GIS-based models for hazard assessment and disaster preparedness // Environmental Hazards. — 2000. — Vol. 2, No. 4. — P. 147–169.

8. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. — 1959. — Vol. 1. — P. 269–271.

9. O‘zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligi Akademiyasi. Favqulodda vaziyatlarda aholini muhofaza qilish bo‘yicha ilmiy-uslubiy nashrlari. — Toshkent, 2021–2025.