QORAQALPOG'ISTON KOLLEKTOR-DRENAJ SUVLARI MINERALLASHUVINING KO'P YILLIK DINAMIKASI, KOLLEKTORLAR SINXRONLIGI VA GIDRO-MELIORATIV NOMUTANOSIBLIK KOEFFITSIENTI (1995–2025)

Saydullayev O.A.
Irrigatsiya va suv muommolari ilmiy tadqiqot instituti doktoranti
Saidov J.E.
Favqulodda vaziyatlar vazirligi akademiyasi dotsenti , t.f.f.d (PhD).
jahongirsaidov.1986@gmail.com
ORCID:0009-0001-8448-1264

Annotatsiya. Kollektor-drenaj suvlari sug'oriladigan yerlardagi tuz balansining bevosita ko'rsatkichi bo'lib, ularning minerallashuvi meliorativ holat bilan birga baholanishi lozim. Maqolada Qoraqalpog'istondagi yettita tumanlararo kollektor (GYUKK, GLK, Ustyurt, KKC, KS-1, KS-3, KS-4) bo'yicha oylik suv sarfi va minerallashuv qatorlari (GYUKK — 1995–2025, qolganlar — 2012–2025) tahlil qilindi. Mann–Kendall testi, Sen nishabligi, Hamed–Rao tuzatmasi va Pettitt testi bilan trend va siljishlar baholandi; kollektorlar sinxronligi Kendall muvofiqlik koeffitsienti (W), dispersion tahlil va bosh komponentlar usuli bilan o'lchandi; kollektorlar bo'yicha panel regressiya Driscoll–Kraay xatolari bilan baholandi. Yetti kollektor o'rtacha minerallashuvi 2012–2025-yillarda 2,56 dan 3,91 g/l gacha (52,3 %) oshgan (τ = 0,52; p = 0,012; panel β = 0,083 g/l yiliga) va 2021-yilda maksimumga (4,44 g/l) yetgan; shu yili yettala kollektorda ko'rsatkich o'z medianasidan yuqori bo'lgan. Kollektorlar o'rtacha-kuchli sinxron o'zgaradi (W = 0,558; p < 0,001). Shu davrda kuchli sho'rlangan yerlar ulushi 2000–2025-yillarda 10 dan 4 foizga kamaygan. Ikki qarama-qarshi yo'nalishni solishtirish uchun taklif etilgan gidro-meliorativ nomutanosiblik koeffitsienti (GMNK) 2021-yilda 128,8, 2025-yilda 107,9 ga yetdi (τ = 0,65; p =

0,0015). Natijalar tavsifiy bo‘lib, suv sarfi va tuz yuki ma’lumotlari bilan tekshirilishi lozim.

Kalit so‘zlar: kollektor-drenaj suvlari, minerallashuv, sinxronlik, Kendall W, Mann–Kendall, sho‘rlanish, Qoraqalpog‘iston

Аннотация. Коллекторно-дренажные воды являются прямым индикатором солевого баланса орошаемых земель. В исследовании проанализированы ежемесячные данные о расходе и минерализации воды семи межрайонных коллекторов Каракалпакстана (ГЮКК — за

1995–2025 гг.; остальные коллекторы — за 2012–2025 гг.). Для анализа использованы тест Манна–Кендалла, оценка наклона Сена, поправка Хамеда–Рао и тест Петтитта. Синхронность изменений оценивалась с помощью коэффициента согласованности Кендалла W, двухфакторного дисперсионного анализа и метода главных компонент (PCA). Также была построена панельная модель с фиксированными эффектами для каждого коллектора и стандартными ошибками Дрисколла–Краая.

Средняя минерализация воды по семи коллекторам в 2012–2025 гг. увеличилась с 2,56 до 3,91 г/л (+52,3%; $\tau = 0,52$; $p = 0,012$; коэффициент панельной модели $\beta = 0,083$ г/л в год), достигнув максимума в 2021 году

(4,44 г/л). В этом году показатели всех семи коллекторов превысили их медианные значения. Между коллекторами выявлена умеренная и высокая степень совместной изменчивости ($W = 0,558$; $p < 0,001$).

За тот же период (2000–2025 гг.) доля земель с высокой степенью засоления сократилась с 10 до 4%. Предложенный коэффициент гидромелиоративной диспропорции (HMDC) достиг 128,8 в 2021 году и 107,9 в 2025 году ($\tau = 0,65$; $p = 0,0015$). Полученные результаты носят описательный характер; для причинно-следственной интерпретации необходимы данные о расходе коллекторно-дренажных вод и выносе солей.

Ключевые слова: коллекторно-дренажные воды, минерализация, синхронность, коэффициент согласованности Кендалла W, тест Манна–Кендалла, засоление почв, Каракалпакстан.

Abstract. Collector-drainage water is a direct indicator of the salt balance of irrigated land. We analysed monthly discharge and salinity of seven inter-district collectors in Karakalpakstan (GYUKK 1995–2025; others 2012–2025) using Mann–Kendall, Sen slope, Hamed–Rao correction and the Pettitt test; synchronicity was assessed by Kendall's W, two-way variance decomposition and PCA, and a collector fixed-effects panel with Driscoll–Kraay errors. The seven-collector mean salinity rose from 2.56 to 3.91 g/l in 2012–2025 (+52.3%; $\tau = 0.52$, $p = 0.012$; panel $\beta = 0.083$ g/l per year), peaking in 2021 (4.44 g/l), when all seven collectors exceeded their medians. Collectors co-vary moderately to strongly

($W = 0.558$, $p < 0.001$). Over the same period the share of strongly saline land fell from 10% to 4% (2000–2025). The proposed hydro-meliorative disparity coefficient (HMDC) reached 128.8 in 2021 and 107.9 in 2025 ($\tau = 0.65$,

$p = 0.0015$). Results are descriptive and need discharge and salt-load data for causal interpretation.

Keywords: collector-drainage water, salinity, synchronicity, Kendall's W, Mann–Kendall, soil salinization, Karakalpakstan

Kirish. Orol bo‘yi mintaqasida sug‘orma dehqonchilik drenaj-kollektor tarmog‘iga tayanadi: sizot suvlarining kritik chuqurlikdan (odatda 150–200 sm) yuqori ko‘tarilishi ikkilamchi sho‘rlanishning asosiy sababi hisoblanadi [1, 2, 3]. Drenaj tizimi sho‘r yuvish natijasida ildiz qatlamidan chiqarilgan tuzlarni kollektorlar orqali olib chiqadi, shu sababli kollektor suvlarining minerallashuvi ham tuproq sho‘rlanishi, ham suv ta’minoti rejimi bilan bog‘liq [4, 5, 6]. Mintaqada suv sifati odatda Amudaryoning o‘zi bo‘yicha baholanadi: 1970–2019-yillar tahlilida quyi oqim stansiyalarida erigan moddalar miqdori (TDS) 1990-yilgacha 751–983 mg/l, undan keyin 983–1560 mg/l gacha oshgani aniqlangan [7, 8]. Kollektor-drenaj suvlari esa ichimlik manbai emas, sug‘orish tizimidan yig‘iladigan

drenaj suvlari bo‘lib, ularni daryo suvi bilan bevosita taqqoslash metodologik jihatdan noto‘g‘ri.

Material va metod. Kollektor suvlari bo‘yicha uzluksiz ko‘p yillik birlamchi qatorlar kam, shu sababli ularning dinamikasi va kollektorlar o‘rtasidagi sinxronlik kam o‘rganilgan. Maqolaning maqsadi: (1) yettita tumanlararo kollektorning minerallashuv dinamikasini baholash; (2) kollektorlar o‘zgarishining sinxronligini miqdoriy aniqlash; (3) drenaj suvi minerallashuvi va tuproq sho‘rlanishi yo‘nalishlarini solishtirish uchun gidro-meliorativ nomutanosiblik koeffitsientini (GMNK) taklif etish va sinash.

Ma’lumot manbai — Suv xo‘jaligi vazirligi tizim tashkilotlari ma’lumotnomalari: yettita tumanlararo kollektor — GYUKK, GLK, Ustyurt, KKC, KS-1, KS-3 va KS-4 — bo‘yicha oylik suv sarfi, oqim hajmi va minerallashuv [9]; sug‘oriladigan yerlarning sho‘rlanish darajasi bo‘yicha (1995–2025) [10]; yer osti suvlari sathi bo‘yicha (1995–2025) [11] qatorlar. GYUKK bo‘yicha qator 1995-yildan, qolgan kollektorlar bo‘yicha 2011–2012-yildan boshlanadi; 2012–2025-yillar (n = 14) barcha kollektorlar uchun umumiy davr sifatida olindi. Bo‘sh yillar to‘ldirilmadi.

Monoton trend Mann–Kendall testi [12, 13], uning kattaligi Sen nishabligi [14] bilan baholandi; qo‘shni yillar avtokorrelyatsiyasi Hamed–Rao tuzatmasi bilan hisobga olindi [15]; bitta keskin siljish yili Pettitt testi bilan aniqlandi [16]. Kollektorlar uchun fiksirlangan effektli panel regressiya Driscoll–Kraay standart xatolari bilan baholandi [17]. Sinxronlik uch ko‘rsatkich bilan o‘lchandi: (a) sinxron minerallashuv koeffitsienti (SMK) — berilgan yilda o‘z medianasidan yuqori bo‘lgan kollektorlar ulushi; (b) Kendall muvofiqlik koeffitsienti W [18]; (c) ikki omilli dispersion tahlil va birinchi bosh komponent (PC1) ulushi.

Drenaj suvi minerallashuvi va tuproq sho‘rlanishining nisbiy o‘zgarishlarini solishtirish uchun gidro-meliorativ nomutanosiblik koeffitsienti (GMNK) taklif etildi. Unda Mt — yetti kollektor o‘rtacha minerallashuvi (g/l), St — Qoraqalpog‘iston sug‘oriladigan yerlarida kuchli sho‘rlangan yerlar ulushi (%), 0

indeksi esa bazaviy yilni bildiradi. GMNK > 0 bo‘lsa, bazaviy yilga nisbatan drenaj suvi minerallashuvi tuproq sho‘rlanishidan ajralib, noqulayroq yo‘nalishda o‘zgargan bo‘ladi. Mutlaq qiymat bazaviy yilga sezgir bo‘lgani uchun GMNK faqat baza bilan birga keltiriladi; bazasiz muqobil sifatida D = z(M) − z(S) indeksi ham hisoblandi [19].

Natijalar. Minerallashuv dinamikasi: Kollektor-drenaj suvlarining minerallashuvi kuzatuv davrida 1,0–5,4 g/l oralig‘ida tebrangan (Ustyurt, 2013-yil: 1,03 g/l; GYUKK, 2001-yil: 5,42 g/l). Uzoq muddatli qatorga ega yagona kollektor — GYUKK da 1995–2025-yillarda pasayish trendi qayd etilgan (τ = −0,31;

p = 0,020; Hamed–Rao tuzatmasi bilan p = 0,083, ya’ni chegaraviy): 1995-yilda 4,83 g/l, 2012-yilda 2,93 g/l, 2025-yilda 4,53 g/l. 2012–2025-yillarda esa yetti kollektor o‘rtachasi 2,56 dan 3,91 g/l gacha oshgan (+52,3 %; τ = 0,52; p = 0,012) va 2021-yilda maksimumga yetgan (4,44 g/l); bu o‘sish trendi ustiga yillararo tebranishlar qo‘shiladi: 2023-yilgacha 21,9 foiz pasayish (3,47 g/l) va

2025-yilgacha 12,6 foiz qayta o‘sish (1-jadval).

1-jadval.

Tumanlararo kollektorlarda suv minerallashuvining yillik o‘rtacha qiymatlari, g/l

Yil	GYUKK	GLK	Ustyurt	KKC	KS-4	KS-3	KS-1	O‘rtacha
1995	4,83	—	—	—	—	—	—	4,83
2000	4,87	—	—	—	—	—	—	4,87
2005	3,62	—	—	—	—	—	—	3,62
2010	3,85	—	—	—	—	—	—	3,85
2012	2,93	3,74	1,65	2,63	2,30	2,04	2,66	2,56
2015	4,42	2,70	2,38	2,83	2,15	4,09	2,85	3,06
2018	3,84	3,08	2,29	3,99	2,92	5,05	3,95	3,59
2020	3,68	3,38	3,51	3,40	3,25	4,09	4,05	3,62
2021	4,49	3,85	4,43	4,80	4,01	5,01	4,50	4,44
2023	3,83	3,60	2,88	3,46	2,26	4,78	3,47	3,47
2025	4,53	4,24	3,43	4,16	3,22	4,30	3,46	3,91

Manba: Suv xo'jaligi vazirligi tizim tashkilotlari ma'lumotnomasi [9]. GYUKK bo'yicha qator 1995-yildan, qolgan kollektorlar bo'yicha 2011–2012-yildan boshlanadi.

Fazoviy jihatdan 2012–2025-yillardagi o'rtacha minerallashuv KS-3 (4,02 g/l) va GYUKK (3,88 g/l) kollektorlarida eng yuqori, Ustyurt (2,71 g/l) va KS-4 (2,77 g/l) kollektorlarida esa eng past; bu suv yig'ish havzalaridagi tuproq sho'rlanishi va drenaj tizimining ish rejimidagi tafovutlarni aks ettiradi. 2021-yilda yettala kollektorning barchasida minerallashuv ko'p yillik medianadan yuqori bo'lgan, biroq individual maksimum faqat to'rttasida (Ustyurt, KKC, KS-4, KS-1) shu yilga to'g'ri keladi: GYUKK da u 2016-yilda (4,84 g/l), KS-3 da 2018-yilda (5,05 g/l), GLK da 2025-yilda (4,24 g/l) qayd etilgan (2-jadval).

2-jadval.

Kollektorlar minerallashuvining tavsifiy va trend ko'rsatkichlari (2012–2025, n = 14)

Kollektor	O'rtacha ± SD, g/l	CV, %	Maks., g/l (yil)	MK τ (p)	Sen, g/l·yil^{-1}
GYUKK	3,88 ± 0,62	16,1	4,84 (2016)	0,33 (0,112)	0,078
GLK	3,45 ± 0,45	13,2	4,24 (2025)	0,32 (0,125)	0,063
Ustyurt	2,71 ± 0,87	32,0	4,43 (2021)	0,43 (0,038)	0,130
KKC	3,45 ± 0,63	18,2	4,80 (2021)	0,45 (0,029)	0,084
KS-4	2,77 ± 0,52	18,7	4,01 (2021)	0,27 (0,189)	0,050
KS-3	4,02 ± 0,87	21,6	5,05 (2018)	0,46 (0,024)	0,147
KS-1	3,51 ± 0,48	13,8	4,50 (2021)	0,23 (0,274)	0,051
7 kollektor o'rtachasi	3,40 ± 0,50	14,8	4,44 (2021)	0,52 (0,012)	0,073

Manba: Suv xo'jaligi vazirligi tizim tashkilotlari ma'lumotnomasi asosida muallif hisob-kitobi. MK — Mann–Kendall testi [12, 13], Sen — Sen nishabligi [14].

Barcha qatorlarda Mann–Kendall τ musbat (0,23–0,46), ammo faqat KS-3, KKC va Ustyurtda ahamiyatli (p = 0,024–0,038); Pettitt testi birorta kollektorda ahamiyatli siljish ko'rsatmadi. Kollektor fiksirlangan effektli panel regressiya umumiy trendni β = 0,083 g/l·yil^{-1} (95 % ishonch oralig'i 0,055–0,110; Driscoll–Kraay xatosi bilan p = 0,017–0,023) deb baholaydi; yil effektlari bunga qo'shimcha tebranish beradi, eng kattasi 2021-yilda (+1,88 g/l).

Kollektorlar sinxronligi: SMK faqat 2021-yilda 1 ga (7/7) teng bo'ldi; yettala kollektor bir vaqtda o'z medianasidan yuqori bo'lishining mustaqil o'zgarishda ehtimoli 0,0067. Kendall muvofiqlik koeffitsienti W = 0,558

(p < 0,001). Ikki omilli dispersion tahlilda umumiy dispersiyaning 38 foizini umumiy yil effekti, 35 foizini kollektorlar orasidagi doimiy farq tushuntiradi; birinchi bosh komponent (PC1) dispersiyaning 62,6 foizini qamraydi. Demak, kollektorlar to'liq emas, balki o'rtacha-kuchli sinxron o'zgaradi: Ustyurt, KKC, KS-4, KS-1 va GLK yadro guruhni tashkil etadi, GYUKK va KS-3 esa ko'proq o'z rejimida o'zgaradi. Bu mintaqaviy (umumiy) omilning mavjudligini ko'rsatadi.

3-jadval.

Qoraqalpog'iston sug'oriladigan yerlarining sho'rlanish darajasi bo'yicha taqsimoti, %

Yil	Umumiy maydon, ming ga	Sho'rlanmagan	Kuchsiz sho'rlangan	O'rta sho'rlangan	Kuchli sho'rlangan
2000	500,09	10	49	32	10
2002	498,67	14	34	39	13
2005	499,36	21	34	34	11
2010	515,29	22	30	38	10
2015	509,50	25	30	37	8
2020	514,63	30	31	36	4
2025	514,59	30	32	34	4

Manba: Suv xo'jaligi vazirligi tizim tashkilotlari ma'lumotnomasi [10]. 1995–1999-yillar qamrovi to'liq bo'lmagani sababli trend 2000-yildan hisoblangan.

Kuchli sho'rlangan yerlar ulushi 2000–2025-yillarda ahamiyatli kamaygan (yiliga −0,41 foiz punkt; $\tau = -0{,}78$; $p < 0{,}001$), siljish 2011→2012-yilda (o'rtacha 11,2 % dan 5,7 % ga), 2020-yildan beri ulush 4 % da turibdi. Sho'rlanmagan yerlar ulushi 2000-yildagi 10 foizdan 30 foizgacha oshgan. Yer osti suvi sathi 1995–2025-yillarda chuqurlashgan ($\tau = 0{,}37$; $p = 0{,}004$; Sen $\beta = 1{,}75$ sm/yil); 1995-yilda 196 sm, 2001-yilda 357 sm, 2010-yilda 221 sm, 2020-yilda 227 sm va 2025-yilda 288 sm. Sathning chuqurlashuvi drenaj tizimining samaradorligi oshganini bildiradi. 2021–2025-yillarda sath chuqurlashgan (268–295 sm), ayni davrda kollektor minerallashuvi ham yuqori bo'lgan, biroq 2012–2025-yillar bo'yicha ikki qator orasidagi yillik bog'lanish statistik ahamiyatli emas (Spearman $\rho = 0{,}35$; $p = 0{,}21$).

Gidro-meliorativ nomutanosiblik koeffitsienti: Baza 2012-yil bo'lganda GMNK 2021-yilda 128,8 ga, 2025-yilda 107,9 ga yetdi ($\Delta M = +52{,}3$ %, $\Delta S = -55{,}6$ %; $\tau = 0{,}65$; $p = 0{,}0015$). Mutlaq qiymat bazaviy yilga sezgir (2025-yil uchun 54,1–108,0), shu sababli GMNK faqat baza bilan birga keltiriladi; ishorasi va trendi esa barcha variantlarda hamda bazasiz $D = z(M) - z(S)$ indeksida barqaror ($\tau = 0{,}65$–$0{,}67$; $p \leq 0{,}0015$). Darajalar bo'yicha $\rho(M, S) = -0{,}74$ ($p = 0{,}002$), yillararo farqlar bo'yicha esa bog'lanish yo'q ($\rho = -0{,}03$), ya'ni nomutanosiblik ikki qator trendlarining qarama-qarshiligidan kelib chiqadi.

Muhokama. Natijalar ikki qarama-qarshi jarayonning bir vaqtda kechishini ko'rsatadi: sug'oriladigan yerlarda sho'rlanish va sizot suvlari rejimi yaxshilangan, kollektor suvlarining minerallashuvi esa 2012-yildan beri oshgan. Adabiyotga ko'ra umumiy omil suv ta'minoti tanqisligi bo'lishi mumkin: suv kam yilda sug'orish normasi qisqaradi, sho'r yuvish samarasi pasayadi va drenaj suvining minerallashuvi ortadi [9, 4, 5]; biroq bu izoh suv ta'minoti ma'lumotlari bilan tekshirilmagan. Gipoteza sifatida kollektor suvining yuqori minerallashuvi tizim nosozligi emas, balki ildiz qatlamidan yuvilgan tuzlarning drenaj orqali chiqarilishi ko'rsatkichi

bo‘lishi mumkin; muqobil izohlar — suyultirishning pasayishi va sug‘orish suvi minerallashuvining o‘zgarishi. Uni tekshirish uchun kollektorlar suv sarfi (Q) va tuz yuki (Q·M) zarur; ular mavjud emasligi sababli GMNK sababiy dalil emas, tavsifiy ko‘rsatkich sifatida talqin qilinadi [19].

Amaliy tavsiyalar: kollektor suvlari minerallashuvi va GMNK ni yillik hisobotga kiritish; kollektorlar suv sarfini monitoringga qo‘shish; GMNK dinamikasini Amudaryo suv ta’minoti bo‘yicha mintaqaviy monitoring ma’lumotlari bilan solishtirish [20].

Xulosa:

1) Yetti kollektor o‘rtacha minerallashuvi 2012–2025-yillarda ahamiyatli oshgan (2,56 → 3,91 g/l; $\tau = 0,52$; $p = 0,012$; panel $\beta = 0,083$ g/l yiliga),

2021-yilda maksimumga yetgan (4,44 g/l).

2) Kollektorlar o‘rtacha-kuchli sinxron o‘zgaradi ($W = 0,558$; $p < 0,001$; PC1 — 62,6 %), bu mintaqaviy omilning mavjudligini ko‘rsatadi.

3) Kuchli sho‘rlangan yerlar ulushi 2000–2025-yillarda 10 dan 4 foizga kamaygan, ya’ni drenaj suvi minerallashuvi va tuproq sho‘rlanishi qarama-qarshi yo‘nalishda o‘zgargan: GMNK 2021-yilda 128,8, 2025-yilda 107,9.

4) Natijalar tavsifiy; ularni tekshirish uchun kollektorlar suv sarfi va tuz yuki bo‘yicha ma’lumotlar zarur.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Richards L.A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. — Washington: USDA, 1954. — 160 p.

2. Ibrakhimov M., Khamzina A., Forkutsa I. et al. Groundwater table and salinity: spatial and temporal distribution in Khorezm // Irrigation and Drainage Systems. — 2007. — Vol. 21. — P. 219–236.

3. Forkutsa I., Sommer R., Shirokova Y.I. et al. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin // Irrigation Science. — 2009. — Vol. 27. — P. 331–346.

4. Kulmatov R., Mirzaev J., Abuduwaili J., Karimov B. Challenges for the sustainable use of water and land resources under a changing climate in Uzbekistan // Journal of Arid Land. — 2020. — Vol. 12. — P. 90–103.

5. Dukhovny V.A., Schutter J. Water in Central Asia: Past, Present, Future. — Leiden: CRC Press, 2011. — 408 p.

6. Rajabova N., Sherimbetov V., Sadiq R., Aboukila A.F. An assessment of collector-drainage water and groundwater quality using the CCME WQI model // Water. — 2025. — Vol. 17(15). — Art. 2191.

7. Sun Y. et al. Historical salinity trends along the Amu Darya River (50-year analysis) // Journal of Hydrology: Regional Studies. — 2023. — S2214581823000629.

8. Iskandarova Sh. et al. River water quality of the Amu Darya in the territory of Karakalpakstan // E3S Web of Conferences (ConMechHydro 2023).

9. Suv xo'jaligi vazirligi tizim tashkilotlari. Tumanlararo kollektorlarning suv sarfi va minerallashuvi bo'yicha ma'lumotnoma (1995–2025). — Toshkent, 2026.

10. Suv xo'jaligi vazirligi tizim tashkilotlari. Sug'oriladigan yerlarning sho'rlanish darajasi bo'yicha ma'lumotnoma (1995–2025). — Toshkent, 2026.

11. Suv xo'jaligi vazirligi tizim tashkilotlari. Yer osti suvlari sathi bo'yicha ma'lumotnoma (1995–2025). — Toshkent, 2026.

12. Mann H.B. Nonparametric tests against trend // Econometrica. — 1945. — Vol. 13, №3. — P. 245–259.

13. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. 4th ed. — London: Charles Griffin, 1975. — 202 p.

14. Sen P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau // Journal of the American Statistical Association. — 1968. — Vol. 63, №324. — P. 1379–1389.

15. Hamed K.H., Rao A.R. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data // Journal of Hydrology. — 1998. — Vol. 204, №1–4. — P. 182–196.

16. Pettitt A.N. A non-parametric approach to the change-point problem // Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). — 1979. — Vol. 28, №2. — P. 126–135.

17. Driscoll J.C., Kraay A.C. Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data // Review of Economics and Statistics. — 1998. — Vol. 80, №4. — P. 549–560. — DOI: 10.1162/003465398557825.

18. Kendall M.G., Babington Smith B. The problem of m rankings // The Annals of Mathematical Statistics. — 1939. — Vol. 10, №3. — P. 275–287.

19. Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffmann A., Giovannini E. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. — Paris: OECD Publishing, 2008.

20. ICWC-CAWater. Amu Darya monitoring database. — Tashkent, 2025.