

UDK: 502(285)(5)
DOI: 10.5937/KonGef24108R
Прегледни научни рад

STRATEGIJE I PODUHVATI REVITALIZACIJE ARALSKOG JEZERA I NJEGOVOG BASENA

Radoslav Ranković¹

Apstrakt: Rad se bavi analizom najveće globalne ekološke katastrofe i mogućnostima njene sanacije. Ekspanzijom pamučnih polja i sistema za navodnjavanje u Centralnoj Aziji, pokrenuta je savremena regresija Aralskog jezera tokom 1960-ih godina. Prekomerno korišćenje vode izazvalo je podelu jezera na dva dela 1987. godine. Međutim, destrukcija vodnog tela nije prekinuta, jer su osmišljene alternative za dopunu jezera. Pionirsko rešenje podrazumevalo je transpoziciju vode reke Ob, dok su druge strategije zagovarale korišćenje vode drugih reka i jezera. Međutim, prvi konkretan poduhvat ostvaren je podizanjem brane Kokaral 2005. godine, čime su sačuvane vode Sir Darje i formiran Mali Aral. Osetno povećanje nivoa vode i smanjenje saliniteta dali su osnovu za dalju revitalizaciju. S druge strane, u oblasti obnove Velikog Arala nije bilo uspeha, a njegova pritoka Amu Darja pojedinih godina nije stizala do svog ušća. Posledično, početkom veka došlo je do fragmentacije Velikog Arala, parcijalnog isušivanja dna i formiranja pustinje Aralkum. Aralska katastrofa je danas svojevrsna anomalija, u okviru koje se ističe podela jedinstvene akvatorije, poremećaj podvodnog sveta, modifikacija klime, promena kvaliteta vode, hipersalinizacija zemljišta, dezertifikacija i aerozagađenje. Studije su pokazale da Kazahstan, Uzbekistan i Turkmenistan poseduju velike površine zaslanjenog zemljišta, koje se može revitalizovati kultivacijom određenih biljnih vrsta. Iako bi pozitivni efekti sladića ili sirka povećali ekonomsku dobit, još važnije je to što bi bila uspostavljena ekološka održivost ove regije. Aralsko pitanje odlikuje i politički momenat, zbog toga što je neracionalno korišćenje vode podstaklo međunarodne sukobe, premda bi adekvatno upravljanje zajedničkim vodnim resursima postalo ključ rešenja problema aralske krize.

Ključne reči: Aralsko jezero, Centralna Azija, navodnjavanje, revitalizacija, upravljanje vodnim resursima.

UVOD

Jezera su kompleksne geografske jedinice, koje se već više decenija nalaze pod dejstvom ljudskih aktivnosti i promena životne sredine. S jedne strane, klimatske promene su doprinele otopljanju zaglečerenih oblasti i poremećaju parametara brojnih jezera. Nasuprot tome, jezera polusušnih i sušnih područja se smanjuju pod uticajem globalnog zagrevanja, suše, jakog isparavanja i drugih faktora (Tan et al., 2018). Neki od glavnih razloga opadanja i degradiranja jezera širom sveta su klimatske promene, preterana eksploatacija vodnih resursa i povećanje broja stanovnika (Ekperusi & Ekperusi, 2021).

Brojna svetska jezera značajno su izložena klimatskim i antropogenim modifikacijama (Jenny et al., 2020), dok se mogućnost promene jezerskih akumulacija povećava usled preklapanja ljudskih uticaja i efekata klimatskih promena (Karimboev et al., 2021). Posledično, nivo Svetskog mora je u konstantnom porastu, dok se brojna jezera širom sveta smanjuju.

Na svetu postoji preko 100 miliona jezera (Verpoorter et al., 2014; Woolway et al., 2022). Ona su važna za vodosnabdevanje, obezbeđivanje hrane, pospešivanje poljoprivredne proizvodnje, ribolov, industrijske potrebe, plovidbu, razvoj turističko-rekreativnih aktivnosti i dr. Neminovno je da jezera čovečanstvu pružaju brojne usluge.

Poljoprivreda troši oko 70% dostupne globalne vode, zbog čega je uloga jezera veoma važna. Međutim, klimatske varijacije i promene u nameni upotrebe zemljišta predstavljaju ozbiljne izazove održivosti brojnih jezera (Olowoyeye & Kanwar, 2023). Mnoga od njih prekomerno gube vodu usled isparavanja, nisu u stanju da nadoknade izgubljenu količinu vode i preti im opasnost od iščezavanja (Liou, 2021).

¹ Doktorand, rankovicradoslav3@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1885-0502

Na jezerima Centralne Azije i širem područja duž Puta svile (Kaspijsko, Aralsko, Isik-Kul, Urmija i dr.) primetne su promene u površini akvatorija (Tan et al., 2018), ali i drugih parametara ovih jezera. Količina od oko 90.000 km³ globalne površinske vode izgubljena je u periodu 1984–2015. godine, od čega je čak 35% pripadalo Aralskom jezeru (Pekel et al., 2016; Han et al., 2022). Ovo jezero prati kontinuirana progresivna degradacija od početka poslednje regresione faze, tako da su danas pojedini njegovi delovi devastirani.

Aktuelni proces degradacije jezera i sve veći troškovi tretmana vode iziskuju primenu adekvatnih i efikasnih metoda koje bi mogle da inhibiraju ovaj proces i da ga preokrenu (Alhamarna & Tandyarak, 2021). Stoga je pravovremeno praćenje jezera, posebno onih koja se nalaze u aridnim i semiaridnim regijama, neophodno i važno za kreatore politika i strategija obnove jezera (Tan et al., 2018). Kroz ovaj rad će se zapravo videti da blagovremene reakcije na degradaciju Aralskog jezera nije bilo, ali će biti predočene neke od mera revitalizacije predmetnog prostora.

PROBLEMSKI PROSTOR

Južni delovi današnjeg Kazahstana i severozapadni delovi Uzbekistana su, pre više miliona godina, bili pokriveni morem. Nakon regresije, pojavila se ravnica sa jako slanim zemljištem i više povremenih slanih jezera. Jedno od njih je bilo Aralsko jezero (Shukla, 2015). Sam naziv Aralskog jezera upućuje na činjenicu da se radi o veoma važnom hidrografskom objektu, koji je okružen pustinjama. „Aral” na centralnoazijskim jezicima znači ostrvo, upućujući na „ostrvo vode” u pustinjskom prostranstvu (Micklin et al., 2020).

Jezero i basen (sliv) su locirani u geografskom srcu azijskog kontinenta. Basen jezera (slika 1) se prostire na teritoriji Centralne Azije, tj. država: Avganistan, Kazahstan, Kirgistan, Tadžikistan, Turkmenistan i Uzbekistan. Ovaj basen predstavlja jednu od najvećih navodnjavanih oblasti u svetu, sa preko 8,5 miliona ha navodnjavanih površina. Veći njegov deo, izuzev avganistanskog dela sliva, nekada se nalazio u sastavu Saveza Sovjetskih Socijalističkih Republike (SSSR). Basen je sada podeljen između šest republika, dok samo jezero dele Kazahstan i Uzbekistan (Bekchanov et al., 2016).



Slika 1. Basen Aralskog jezera sa obalskom linijom jezera iz 1960. godine (Izvor: Waltham & Sholji, 2002).

Aralsko jezero se nalazi severno od pustinje Karakum i južno od planine Ural. Na zapadu je ograničeno visoravni Ustyurt, a na istoku pustinjom Kizilkum. Proglašeno je za veliku hidrološku anomaliju sa geografskim centrom na 45° N i 60° E. Usled drastičnog povećanja saliniteta vode, podvodni svet jezera, pre svega mnoge vrste ihtiofaune, su iščezle. Basen Aralskog jezera se prostire na površini od preko 2 miliona km² i najveća je sušna regija umerenih geografskih širina na svetu (Cretaux et al., 2013; Pekel et al., 2016; Wheeler, 2021; Ge et al., 2023).

UZROCI EKOLOŠKE KATASTROFE

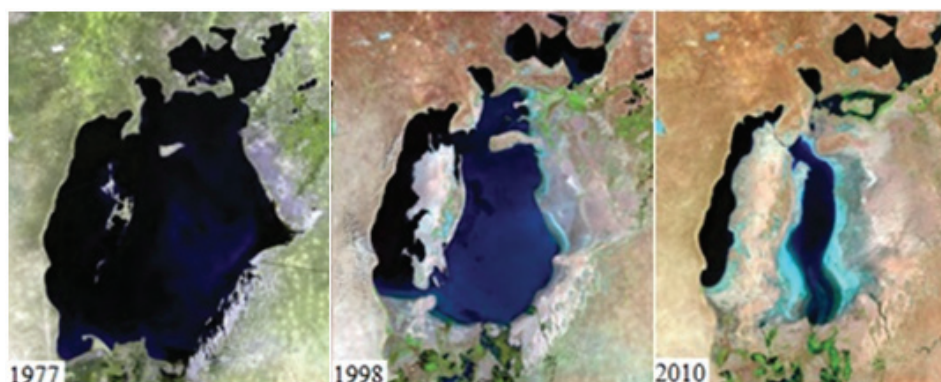
Aralsko jezero je do 1960. godine bilo četvrto najveće jezero sveta. Postepeno se smanjivalo, usled regresije, i do sada je izgubilo preko 80% svoje nekadašnje površine (He et al., 2022). Poslednja regresija se javila prevashodno zbog ekspanzije pamučnih polja u Uzbekistanu i potrebe za njihovim

navodnjavanjem (Klimaszyk et al., 2022). Carska Rusija je kontrolisala veći deo basena Aralskog jezera i još 1908. godine je projektovala planove za proizvodnju pamuka (Waltham & Sholji, 2002), koji su i realizovani. Recentna regresija dovela je do podele Aralskog jezera na Severni (Mali) i Južni (Veliki) Aral 1987. godine (Jenny et al., 2020), no ovaj proces je i nakon toga nastavljen.

Problem sa upravljanjem vodama u basenu Aralskog jezera je veoma složen. Pamučna polja su u velikoj meri bila pokretač recentne regresije, koja je podstakla niz problema na predmetnoj teritoriji. Takođe, prisutna je i konfliktnost oko upravljanja vodom među centralnoazijskim državama. Prema Zakeriju i sar. (Zakeri et al., 2022), svaki racionalni pokušaj upravljanja vodama u basenu Aralskog jezera predstavljao je sukob interesa među zemljama koje koriste raspoložive vodne resurse.

Iako su pojedine zemlje Centralne Azije zahtevale veći utrošak vode za potrebe energetike, jezerska i voda Amu Darje i Sir Darje, korišćena je primarno za navodnjavanje pamučnih polja. Navodnjavane površine su neretko bile hemijski tretirane, pa je na njima dolazilo do kontakta i mešanja vode i toksičnih materija. Višak vode je vraćan drenažnim sistemima do jezera, gde su štetne materije i akumulirane. Enormno korišćenje vode, uz njeno isparavanje, uzrokovalo je povlačenje obalske linije jezera i promenu njegovih parametara (površina, zapremina, dubina, salinitet). Posledično, došlo je do pojave isušenog dna jezera i izloženosti zatrovanog tla procesu eolske erozije, što je prouzrokovalo aerozagađenje.

Budući da je celokupan prostor basena Aralskog jezera kontaminiran i degradiran, javila se potreba za njegovim revitalizovanjem. Uprkos brojnim strategijama i planovima, Aralsko jezero i njegov basen se i dalje suočavaju sa pokrenutom ekološkom katastrofom. Na slici 2 se može primetiti kako je recentna regresija uticala na formiranje zasebnih basena na prostoru nekadašnjeg jedinstvenog vodnog tela. Da bi započeti proces bio zaustavljen (poželjno i preokrenut), neophodno je osmisliti konkretne i realistične strategije, postići kompromis pri upravljanju vodama Centralne Azije i ostvariti međudržavnu saradnju, kako bi se uspešnost revitalizacionih mera mogla razmatrati.



Slika 2. Satelitski snimci Aralskog jezera nakon početka poslednje regresije
(Izvor: preradio autor na osnovu Wheeler, 2021).

MERE REVITALIZACIJE

Planovi i strategije, koje se odnose na mere revitalizacije Aralskog jezera, mogu se podeliti na mere koje se odnose na samo Aralsko jezero i mere koje se odnose na revitalizaciju basena jezera. Prva grupa sanacionih mera pretežno obuhvata teorijske ideje i modele dopune jezera. Većina njih je predstavljala potencijalno rešenje problema opadanja nivoa vode jezera u trenutku njihovog donošenja. Međutim, na sreću ili nesreću, mnoge od njih ostale su samo na nivou hipoteze.

Moskovski političari i prostorni planeri ignorisali su ekološka načela i nastavili su sa progresijom pamučnih polja, sve dok nisu izgubili kontrolu oko 1985. godine. Svesno je zanemarivana propast Aralskog jezera, jer je osmišljena alternativa za dopunu jezera. Ideja se sastojala u tome da se dovoljne količine vode Aralskom jezeru kompenzuju preusmeravanjem vode iz sibirskih reka (Waltham & Sholji, 2002). Jedno od predloženih kontroverznih rešenja je podrazumevalo transpoziciju vode reke Ob (Zakeri et al., 2022). Ova strategija se može okarakterisati kao jedna od pionirskih mera revitalizacije, mada bi verovatno prouzrokovala još veću ekološku katastrofu. Ovi planovi su napušteni tokom 1980-ih godina (Waltham & Sholji, 2002). Takođe, postojali su i predlozi za transfer vode Kaspijskog jezera, Volge (Shukla, 2015) i Jeniseja (Wheeler, 2021).

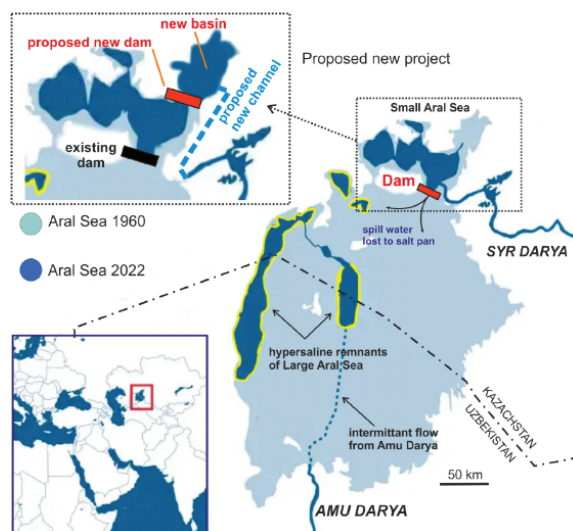
Premda planovi za prenos vode iz sibirskih reka datiraju iz 19. veka, značajnije se o njima spekulisalo tek od kasnih 1940-ih godina. Od kraja 1960-ih, razvijani su planovi o upravljanju vodama, što je podrazumevalo isporuku do 60 km³ (u prvoj fazi 27 km³) vode iz Oba i Irtiša. U Rusiji je vladalo veliko negodovanje povodom slanja vodnih resursa iz sibirskih reka. Pretpostavlja se da bi svega 15 km³ vode dospelo do Centralne Azije, usled gubitaka isparavanjem. Plan je bio gotovo implementiran, ali ga je 1986. godine zaustavio režim Gorbačova. Potencijalni ekološki rizici su navedeni kao razlog obustave projekta, ali se pretpostavlja da je ekonomski faktor (visoka cena) bio glavni razlog otkazivanja. Procenjuje se da bi troškovi ovog tehničkog poduhvata danas iznosili i do 60 milijardi američkih dolara. Svetska banka se zbog bojazni za životnu sredinu oštro protivila realizaciji (Micklin, 2014).

Druga varijanta sibirskog projekta predviđala je da jezero Zajsan u Kazahstanu posluži kao vodozahvat. Iz Zajsanskog jezera, izvorišta reke Irtiš, bi se voda dopremala u Sir Darju, tj. dopunjavala bi Mali Aral. S političkog i ekonomskog aspekta, projekat bi bio nešto prihvatljiviji, jer bi se sprovodio na teritoriji jedne države, dok bi cena bila niža zbog kraće rute transportovanja. Predlagači projekta su planirali isporuku do 40 km³ vode, ali bi do Malog Arala, ponovo zbog gubitka, stizala mnogo manja količina vode. Pretpostavlja se i da vlada Kazahstana ne bi dozvolila isporuku zahtevane količine vode, jer bi u protivnom došlo do poremećaja vodnog bilansa Irtiša (Micklin, 2014).

U jednoj od najapokaliptičnijih strategija revitalizacije Aralskog jezera razmatralo se pucanje brane Sareskog jezera u Tadžikistanu. Zemljotres iz 1911. godine, koji je pogodio planinu Pamir, izazvao je veliko klizište. Skliznuti materijal je poslužio kao brana za ujezeravanje oko 17 km³ vode. Sličan zemljotres bi mogao da uništi branu i pokrene poplavni talas ka Velikom Aralu (Waltham & Sholji, 2002).

Ipak, logičnije rešenje problema nestanka Aralskog jezera kazahstanski naučnici vide u smanjenju količine vode koja se izdvaja za potrebe irigacije (Sapanov et al., 2021). Prva konkretna i ohrabrujuća mera revitalizacije Aralskog jezera odnosila se na usporavanje degradacije severnog dela jezera nakon formiranja nasipa u Bergovom moreuzu 1992. godine. Primarni nasip je 1999. godine ispran, ali i zamenjen novim, strukturno zdravim nasipom. Nivo vode je usled podizanja bedema porastao za nekoliko metara, dok se salinitet postepeno vraćao na nivoe od pre početka poslednje regresione faze. Posledično je ekosistem ovog dela Aralskog jezera postao održiv (Aladin et al., 2009).

Napori vlade Kazahstana, uz sredstva Svetske banke, inicirali su podizanje brane Kokaral 2005. godine. Ona je sačuvala vode Sir Darje i stvorila Mali Aral (slika 3). On predstavlja jedinstven ekosistem, koji će u budućnosti biti podvrgnut daljim fazama revitalizacije. Branom Kokaral je podignut nivo vode Malog Arala za 4 m i smanjen je salinitet sa 25‰ na 5‰ u 2013. godini (Klimaszyk et al., 2022). S druge strane, u tom periodu, južni deo Aralskog jezera je nastavio da propada (Pan et al., 2022).



Slika 3. Mali Aral i predlog njegovog daljeg oporavka
(Izvor: Plotnikov et al., 2023).

Mnogo manje uspeha je postignuto u pogledu revitalizacije Velikog Arala. Do 1960. godine površina jezera iznosila je oko 67,5 hiljada km² (Veliki Aral 61.400 km², Mali Aral 6.118 km²), a zapremina 1.089 km³ (Veliki Aral 1.007 km³, Mali Aral 82 km³). Do 2007. godine površina jezera je

smanjena na oko 14.000 km² (21% od površine iz 1960. godine) sa zapreminom od 102 km³ (9% od zapremine iz 1960. godine). Površina Velikog Arala je činila 17% površine iz 1960. godine, odnosno 8% zapremine jezera pre početka poslednje regresije. Odgovarajuće vrednosti za Mali Aral bile su 53% i 33% (Aladin et al., 2009).

Na ubrzano smanjenje Velikog Arala uticalo je to što njegova pritoka Amu Darja pojedinih godina nije stizala do svog ušća (Karimboev et al., 2021). Veći deo istočnog Velikog Arala je nestao, a stopa gubitka bila je najveća 1994–2009. godine. Na ovom prostoru je počela da se formira pustinja Aralkum, iako je u poslednje vreme proces dezertifikacije usporen. Promene u načinu upravljanja vodama daju pozitivne izgleda za stabilizaciju negativnih transformacija i delimičnu revitalizaciju jezera (Orlovsky et al., 2001; Pekel et al., 2016).

Smanjenje evapotranspiracije i različitih neproduktivnih gubitaka vode su ključne stavke za buduće projekte revitalizacije (Huang et al., 2022), dok se efikasnim korišćenjem vode i zemljišta može optimizirati poljoprivredna proizvodnja i tako sprečiti rasipanje vode (Han et al., 2022). Važna je i rekonstrukcija irigacionih sistema. Njihova infrastruktura je zastarela i neadekvatno održavana, tako da na mnogim sektorima ima efikasnost transporta vode ispod 60%. Bez obzira na ovakve odlike, postoji nada za poboljšanje u oblasti navodnjavanja. Napredne tehnike navodnjavanja (npr. kap po kap) smanjile bi rashod vode i povećale prinose useva. Ipak, zbog neadekvatnog održavanja, intenzivira se njihovo propadanje i povećavaju gubici vode. Sve je veći broj oštećenih kanala, zastarelih pumpi, a rezervni delovi nedostaju (Bekchanov et al., 2016).

Druga grupa mera odnosi se na revitalizaciju degradiranog zemljišta širom basena Aralskog jezera. Usled ekspanzije pamučnih polja, ubrzano su širene i navodnjavane površine. Međutim, gotovo polovina navodnjavanog zemljišta Centralne Azije pogođena je različitim koncentracijama soli (Qadir et al., 2009). Turkmenistan, Kazahstan i Uzbekistan odlikuje veći stepen degradacije zemljišta. Površine zahvaćene solju čine redom 98%, 80%, odnosno 66% navodnjavanih površina ovih zemalja. S druge strane, u Kirgistanu i Tadžikistanu, procenat zaslanjenih površina je ispod 40% (EJF, 2012).

Dokazano je da sladić (lat. *Glycyrrhiza Glabra*) ima pozitivan uticaj pri revitalizaciji degradiranih slanih površina u aridnim oblastima. Sladić je autohtona višegodišnja halofita u oblasti basena Aralskog jezera, dobro uspeva u suptropskim širinama i može se adaptirati na različite klimatske uslove. Međutim, rastuću tražnju za ovom biljkom pratila je neracionalna žetva, što je značajno suzilo njen areal u Centralnoj Aziji (Khaitov et al., 2022).

Dugotrajnom kultivacijom sladića degradirano zemljište se obogaćuje organskom materijom. Kako uzgoj sladića na zaslanjenom zemljištu basena Aralskog jezera poseduje značajan potencijal za rehabilitaciju basena, potrebno je poraditi na održivom uzgajanju ove biljne kulture. Njenim uzgojem se smanjuje ukupna količina rastvorenih soli, kao i erozija zemljišta. Dokazano je da su se na zemljištu, na kom je uzastopno tri godine gajen sladić, značajno povećali prinosi pamuka i pšenice. Pozitivni efekti kultivisanja sladića povećavaju ekološku, ali i ekonomsku održivost basena. Takođe, ova biljka će uvesti poljoprivredu otpornu na klimatske promjene (Khaitov et al., 2022). Za poboljšanje kvaliteta i produktivnosti degradiranog zemljišta mogu se iskoristiti i pirinač, sirak ili proso (Massino et al., 2015).

Sirak je otporan na so i sušu. Dobro je adaptiran na ove uslove, budući da preko 2.000 godina uspeva u Centralnoj Aziji. Njegova specifičnost, u kontekstu revitalizacije basena, je velika produkcija biomase na marginalnim, odnosno hiperslanim zemljištima. Uprkos tome, u oblasti Centralne Azije, pod sirkom je tek nešto više od 700 ha zemljišta (Rustamova et al., 2023).

ZAKLJUČAK

Aralsko jezero se, u uslovima suve klime i strategije za transformisanje pustinje u obradive površine, počelo smanjivati. Situacija koja u basenu Aralskog jezera vlada od 1960. godine važi za najveću ekološku katastrofu sveta, i to s razlogom. Održivost celokupnog basena, kao i samog jezera, odavno je narušena.

Iako je propast Aralskog jezera svesno ignorisana, razvijene su određene strategije koje su mogle da posluže u funkciji obnove jezera. Mnoge od njih su predstavljale samo teorijski okvir revitalizacije, poput transpozicije vode iz sibirskih reka ili pojedinih jezera. Nijedna od predloženih mera nije realizovana, a pitanje je i kakve bi posledice one prouzrokovale da su bile implementirane.

Konkretna mera, koja se tiče parcijalne obnove Aralskog jezera, vezana je za severni deo vodnog tela. Brana Kokaral je uticala na podizanje nivoa vode i smanjenje saliniteta vode, što je

dobra osnova za nastavak revitalizujućih mera. Nasuprot tome, u pogledu revitalizacije južnog dela jezera nije postignut skoro nikakav učinak. Štaviše, Veliki Aral je podeljen, a u istočnom delu njegovog basena formirana je pustinja Aralkum.

Širom basena nalaze se velike površine pod zaslanjenim zemljištem. Njih je takođe potrebno revitalizovati. Potvrđeno je da postoje biljne kulture koje mogu doprineti smanjenju koncentracije soli u zemljištu. Najznačajnija biljka je sladić, a pri revitalizaciji solju degradiranih površina dobro se pokazao i sirak, mada je njegova primena daleko manja.

LITERATURA

- Aladin, N. V., Plotnikov, I. S., Micklin, P. & Ballatore, T. (2009). The Aral Sea: Water Level, Salinity and Long-Term Changes in Biological Communities of an Endangered Ecosystem – Past, Present and Future. In A. Oren, D. Naftz, P. Palacios & W. A. Wurtsbaugh (eds.). *Saline Lakes Around the World: Unique Systems with Unique Values* (pp. 177-183). Salt Lake City: International Society for Salt Lake Research (ISSLR) 10th International Conference and 2008 FRIENDS of Great Salt Lake Issues Forum.
- Alhamarna, M.Z. & Tandyarak, R. (2021). Lakes restoration approaches. *Limnological Review*, 21(2), 105-118. DOI: 10.2478/limre-2021-0010
- Bekchanov, M., Ringler, C., Bhaduri, A. & Jeuland, M. (2016). Optimizing irrigation efficiency improvements in the Aral Sea Basin. *Water Resources and Economics*, 13, 30-45. DOI: 10.1016/j.wre.2015.08.003
- Cretaux, J-F., Letolle, R. & Bergé-Nguyen, M. (2013). History of Aral Sea level variability and current scientific debates. *Global and Planetary Change*, 110(A), 99-113. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.05.006
- EJF (2012). *The true costs of cotton: cotton production and water insecurity*. London: Environmental Justice Foundation.
- Ekperusi, A.O. & Ekperusi, O.H. (2021). Natural resources depletion, pollution and drestoration of Lake Chad. *International journal of maritime and interdisciplinary research*, 2(1), 1-19.
- Ge, Y., Wu, N., Abuduwaili, J. & Issanova, G. (2023). Assessment of spatiotemporal features and potential sources of atmospheric aerosols over the Tianshan Mountains in arid central Asia. *Atmospheric Research*, 294, 119502. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2022.119502
- Han, S., Xin, P., Li, H. & Yang, Y. (2022). Evolution of agricultural development and land-water-food nexus in Central Asia. *Agricultural Water Management*, 273, 10874. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107874
- He, H., Hamdi, R., Luo, G., Cai, P., Zhang, M., Shi, H., Li, C., Termonia, P., De Maeyer, P. & Kurban, A. (2022). Numerical study on the climatic effect of the Aral Sea. *Atmospheric Research*, 268, 105977. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105977
- Huang, S., Chen, X., Chang, C., Liu, T., Huang, Y., Zan, C., Ma, X., De Maeyer, P. & Van de Voorde, T. (2022). Impacts of climate change and evapotranspiration on shrinkage of Aral Sea. *Science of The Total Environment*, 845, 157203. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157203
- Jenny, J-P., Anneville, O., Arnaud, F., Baulaz, Y., Bouffard, D., Domaizon, I., Bocaniov, S. A., Nathalie, N., Dittrich, M., Dorioz, J-M., Dunlop, E. S., Dur, G., Guillard, J., Guinaldo, T., Jacquet, S., Jamoneau, A., Jawed, Z., Jeppesen, E., Krantzberg, G., Lenters, J., Leoni, B., Meybeck, M., Nava, V., Nöges, T., Nöges, P., Patelli, M., Pebbles, V., Perga, M-E., Rasconi, S., Ruetz III, C. R., Rudstam, L., Salmaso, N., Sapna, S., Straile, D., Tammeorg, O., Twiss, M. R., Uzarski, D. G., Ventelä, A-M., Vincent, W. F., Wilhelm, S. W., Wängberg, S-Å. & Weyhenmeyer, G. A. (2020). Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 46, 686-702. DOI: 10.1016/j.jglr.2020.05.006
- Karimboev, F., Gulomov, D. & Tillayeva, Z. (2021). Assessment of water quality in the downstream of the Amu Darya basin. *E3S Web of Conferences*, 264(3), 03049. DOI: 10.1051/e3sconf/202126403049
- Khaitov, B., Karimov, A., Khaitbaeva, J., Sindarov, O., Karimov, A. & Li, Y. (2022). Perspectives of Licorice Production in Harsh Environments of the Aral Sea Regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11770. DOI: 10.3390/ijerph191811770
- Klimaszyk, P., Kuczyńska-Kippen, N., Szlag-Wasielewska, E., Marszelewski, W., Borowiak, D., Niedzielski, P., Nowiński, K., Kurmanbayev, R., Baikenzhayeva, A. & Rzymiski, P. (2022). Spatial heterogeneity of chemistry of the Small Aral Sea and the Syr Darya River and its impact on plankton communities. *Chemosphere*, 307(2), 135788. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135788
- Liou, J. (2021). *Impact of Climate Change on Lakes Worldwide Revealed by IAEA Isotope Study*. Vienna: International Atomic Energy Agency. Dostupno na: <https://www.iaea.org/newscenter/news/impact-of-climate-change-on-lakes-worldwide-revealed-by-iaea-isotope-study> (datum pristupa: 6.3.2023).
- Massino, A. I., Edenbaev, D., Khujanazarov, T. M., Azizov, K., Boboev, F., Shuyskaya, E. V., Massino, I. V. & Toderich, K. N. (2015). Comparative Performance of Corn, Sorghum and Pearl Millet Growing under Saline Soil and Water Environments in Aral Sea Basin. *Journal of Arid Land Studies*, 25(3), 269-272.
- Micklin, P. (2014). Efforts to Revive the Aral Sea. In P. Micklin, N. V. Aladin & I. Plotnikov (eds.). *The Aral Sea* (pp. 361-380). Heidelberg: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-02356-9_15
- Micklin, P., Aladin, N. V., Chida, T., Boroffka, N., Plotnikov, I. S., Krivonogov, S. & White, K. (2020). The Aral Sea: A Story of Devastation and Partial Recovery of a Large Lake. In S. Mischke (ed.). *Large Asian Lakes in a Changing World: Natural State and Human Impact* (pp.109-141). Cham: Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-030-42254-7

- Olowoyeye, O.S. & Kanwar, R.S. (2023). Water and Food Sustainability in the Riparian Countries of Lake Chad in Africa. *Sustainability*, 15(13), 10009. DOI: 10.3390/su151310009
- Orlovsky, N., Radzinsky, V. & Orlovsky, L. (2001). Desertification and population health in the Turkmenistan part of the Aral Sea region. *Conference: Environmental Health Risk*, 5, 267-276.
- Pan, X., Wang, W., Liu, T., Akmalov, S., De Maeyer, P. & Van de Voorde, T. (2022). Integrated modeling to assess the impact of climate change on the groundwater and surface water in the South Aral Sea area. *Journal of Hydrology*, 614(B), 128641. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128641
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N. & Belward, A. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540, 418-436. DOI: 10.1038/nature20584
- Plotnikov, I. S., Aladin, N. V., Zhakova, L. V., Mossin, J. & Høeg, J. T. (2023). Past, Present and Future of the Aral Sea – A Review of its Fauna and Flora before and during the Regression Crisis. *Zoological Studies*, 62(19), 1-38. DOI: 10.6620/ZS.2023.62-19
- Qadir, M., Noble, A. D., Qureshi, A. S., Gupta, R. K., Yuldashev, T. & Karimov, A. (2009). Salt-induced land and water degradation in the Aral Sea basin: A challenge to sustainable agriculture in Central Asia. *Natural Resources Forum*, 33(2), 134-149. DOI: 10.1111/j.1477-8947.2009.01217.x
- Rustamova, I., Primov, A., Karimov, A., Khaitov, B. & Karimov, A. (2023). Crop Diversification in the Aral Sea Region: Long-Term Situation Analysis. *Sustainability*, 15, 10221. DOI: 10.3390/su151310221
- Sapanov, S. Zh., Zhumabayeva, K. Zh., Makasheva K. N., Kairgaliyeva, G. & Nigmatov, B. S. (2021). Ecology of Kazakhstan: problems and ways of their solutions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1860, 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1860/1/012020
- Shukla, A. (2015). The shrinking of Aral sea (A worst environmental disaster). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(3), 633-643.
- Tan, C., Guo, B., Kuang, H., Yang, H. & Ma, M. (2018). Lake Area Changes and Their Influence on Factors in Arid and Semi-Arid Regions along the Silk Road. *Remote Sensing*, 10, 595. DOI: 10.3390/rs10040595
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A. & Tranvik, L. J. (2014). A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophysical Research Letters*, 41(18), 6396-6402. DOI: 10.1002/2014GL060641
- Waltham, T. & Sholji, I. (2002). The demise of the Aral Sea – An environmental disaster. *Geology Today*, 17(6), 218-228. DOI: 10.1046/j.0266-6979.2001.00319.x
- Wheeler, W. (2021). *Environment and Post-Soviet Transformation in Kazakhstan's Aral Sea Region: Sea changes*. London: UCL Press. DOI: 10.14324/111.9781800 080331
- Woolway, R. I., Sharma, S. & Smol, J. P. (2022). Lakes in Hot Water: The Impacts of a Changing Climate on Aquatic Ecosystems. *BioScience*, 72(11), 1050-1061. DOI: 10.1093/biosci/biac052
- Zakeri, B., Hunt, J. D., Laldjebaev, M., Krey, V., Vinca, A., Parkinson, S. & Riahi, K. (2022). Role of energy storage in energy and water security in Central Asia. *Journal of Energy Storage*, 50, 104587. DOI: 10.1016/j.est.2022.104587

STRATEGIES AND PROJECTS OF THE REVITALIZATION OF THE ARAL SEA AND ITS BASIN

Radoslav Ranković²

Abstract: The paper deals with the analysis of the biggest global environmental disaster and the possibilities of its rehabilitation. The expansion of cotton fields and irrigation systems in Central Asia initiated the modern regression of the Aral Sea during the 1960s. The lake was divided in 1987 into two parts due to excessive water use. However, the destruction of the water body did not stop, because alternatives were devised to fill the lake. A pioneering solution involved the transposition of water from the Ob River, while other strategies implied the use of water from other rivers and lakes. However, the first concrete project was achieved by raising the Kokaral dam in 2005, which saved the waters of Syr Darya and formed the Small Aral. A noticeable increase in the water level and a decrease in salinity provided the basis for further revitalization. On the other hand, there was no success in the area of reconstruction of the Large Aral, and its tributary Amu Darya did not reach its mouth for some years. Consequently, at the beginning of the century, the fragmentation of the Large Aral occurred as well as the partial drying of the bottom and the formation of the Aralkum desert. Today, the Aral disaster is an anomaly, as a result of which many changes occurred (division of the unique water area, disruption of the underwater world, climate modification, change in water quality, soil hypersalinization, desertification and air pollution). Studies have shown that Kazakhstan, Uzbekistan and Turkmenistan have saline soil, which can be recovered by cultivating certain plant crops. Although the positive effects of licorice or sorghum would increase economic profits, the established ecological sustainability of this region would be more important. Also, the Aral issue is characterized by a political moment because inadequate water use has fueled international conflicts, although adequate water resources management would become the key to solving the problem of the Aral crisis.

Keywords: Aral Sea, Central Asia, irrigation, revitalization, water resources management.

² Ph.D. student, rankovicradoslav3@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1885-0502