Научная статья
УДК 626.816.002.5

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СПОСОБ БОРЬБЫ С ВЛЕКОМЫМИ НАНОСАМИ

М.Н. Кокоев[1,*], В.М. Казиев[2], А.С. Сасиков[2], Т.А. Сасиков[2], М.Р. Тарчоков[2]

[1] Кабардино-Балкарский Государственный университет, г. Нальчик, Россия
[2] ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик, Россия
[*] E-mail: kbagrostroy@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены пути повышения коэффициента водозабора на горных реках с помощью усовершенствования конструкцию подводящего русла реки. Нами рассмотрен способ борьбы с донными наносами с помощью криволинейного зарегулированного русла. Основные параметры криволинейного зарегулированного русла, принятые согласно инструкции по проектированию низконапорных плотинных речных водозаборов оросительных систем, являются для условий горного водозабора типовыми. С усилением крепления криволинейного русла обеспечивается более равномерное распределение удельных расходов воды по его сечению, в результате чего повышается эффективность способа борьбы с влекомыми наносами и сокращается время промывки верхнего бьефа от наносов. Усиление подводящего криволинейного подводящего русла не требует специальных новых разработок в конструкциях и на стоимость из строительства не влияет.

Ключевые слова: *русло; берег; водозабор; откос; река; влекомые наносы; течение.*

Для цитирования: Кокоев М.Н., Казиев В.М., Сасиков А.С., Сасиков Т.А., Тарчоков М.Р. Усовершенствованный способ борьбы с влекомыми наносами // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2024. Т.10, № 3. С. 42-49.

Original article

AN IMPROVED METHOD FOR COMBATING SOLID SEDIMENT

M.N. Kokoev[1,*], V.M. Kaziev[2], A.S. Sasikov[2], T.A. Sasikov[2], M.R. Tarchokov[2]

[1] Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia
[2] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik, Russia
[*]E-mail: kbagrostroy@yandex.ru

Abstract. The article discusses ways to increase the coefficient of water intake on mountain rivers by improving the design of the inlet river bed. We have considered a method of combating bottom sediments using a curved regulated channel. The main parameters of a curved regulated channel, adopted in accordance with the instructions for the design of low-pressure dam river water intakes of irrigation systems, are typical for mountain water intake conditions. By strengthening the fastening of the curvilinear channel, a more uniform distribution of specific water flow rates across its cross section is ensured, resulting in an increase in the efficiency of the method of combating tractional sediment and a reduction in the time of flushing the upper pool from sediment. Strengthening the supply curved supply channel does not require special new developments in structures and does not affect the cost of construction.

Key words: *channel; shore; water intake; slope; river; bedload; flow.*

© Кокоев М.Н., Казиев В.М., Сасиков А.С., Сасиков Т.А., Тарчоков М.Р. 2024

For citation: Kokoev M.N., Kaziev V.M., Sasikov A.S., Sasikov T.A., Tarchokov M.R. An improved method of combating tractional sediment // *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2024. Vol.10, No.3, pp. 42-49.

Введение

Повышение коэффициента водозабора на горных реках до 0,9 и более непосредственно связано с совершенствованием существующих и разработкой новых способов борьбы с отложениями крупнозернистых наносов. Из известных способов борьбы с наносами при водозаборе широко применяется способ, основанный на пропуске расходов реки по криволинейному подводящему зарегулированному руслу. Однако повышенные удельные расходы воды и скорости течения деформируют ложе криволинейного русла, при этом форма его поперечного сечения изменяется от первоначальной (проектной) трапецеидальной или прямоугольной до треугольной с размещением воронки размыва вдоль вогнутого берега. Это изменение в сочетании с формированием местной шероховатости ложа обусловливает неравномерное развитие и уменьшение осредненных донных скоростей поперечных течений. Уменьшается также степень отклонения влекомых наносов к выпуклому берегу, увеличивается попадание их крупных фракций в водоприемник сооружения и далее в отводящие каналы. По ширине русла наблюдается неравномерное распределение удельных расходов воды с увеличением их в направлении от выпуклого берега к вогнутому и ухудшением условий эксплуатации водозабора — снижается общая пропускная способность, увеличивается местный размыв в нижнем бьефе [1-5].

В водотоках, протекающих в жестких неразрываемых руслах, взаимозависимость расходов воды и глубин (кривая расходов) постоянна и не изменяется в течение длительного времени. В речных системах с размываемым руслом происходит постоянное взаимодействие водного потока и материала русла, изменение режима гидравлических сопротивлений на разных структурных уровнях транспорта наносов и руслового процесса, поэтому кривые расходов рек и каналов, являясь отображением этого взаимодействия, могут изменять свою форму [6, 7].

Способ борьбы с донными наносами

Усовершенствовать конструкцию подводящего русла можно, жестко закрепив его ложе вдоль вогнутого берега на уровне средних отметок дна (рис. 1). Значение ширины жесткого крепления принимают равным от *2H* в начале до *0,5 B* в створе водозабора *(H* — средняя глубина; *B* — ширина зарегулированного русла). Принцип работы водозабора состоит в следующем: речную воду *1* пропускают по подводящему криволинейному участку, ограниченному дамбами (стенками) *2,* направляющими поток к створу водозабора *6.* Под действием сил тяжести и инерции поверхностные струи потока отклоняются в зону вогнутого берега *4.* Взаимодействуя с откосом дамб (стен) *12* и жестким креплением ложа *3,* они формируют донные поперечные течения *5,* отклоняющие влекомые наносы в зону выпуклого берега *10,* которые затем промываются через нанососбросные отверстия плотины *9* в отводящее русло *8.* Жесткое крепление ложа стабилизирует формы поперечного сечения русла, способствуя перераспределению и увеличению по сечению донных поперечных течений.

Рассматриваемый способ борьбы с донными наносами изучен в лабораторных условиях. Основные параметры криволинейного зарегулированного русла, принятые согласно инструкции по проектированию низконапорных плотинных речных водозаборов оросительных систем, являются для условий горного водозабора типовыми. Масштаб русловой установки 1:30, моделирование неискаженное, с соблюдением подобия сил тяжести. Средний продольный уклон русла 0,03; расходы воды в пересчете на натурные значения — руслоформирующий 40 м^3/с, среднепаводковый 20 м^3/с; относительный радиус кривизны *R/B = 4,* абсолютный *R* = 60 м; центральный угол поворота и размещения створа

водозабора 58°; средний и максимальный диаметры влекомых наносов при руслоформирующем расходе 21 и 60 см (характерны для нижних участков русл горных рек с уклонами 0,005...0,05, расходами 30...300 м^3/с) при среднепаводковом 9 и 30 см; удельное содержание влекомых наносов при руслоформирующем и среднепаводковом расходах 2,5 и 1 г/л; поперечное сечение зарегулированного русла прямоугольное и трапецеидальное (*m=1*). Опыты проводились с жестким креплением ложа в зоне вогнутого берега и без него (рис. 2). Жесткое крепление выполняли на средних отметках дна русла из каменной кладки (средний диаметр камня 80...100 см) на гравийно-галечниковой подготовке. Ширина крепления в плане равнялась 3 м (*2H)* в начале и 6 м (*0,5B)* в конце.

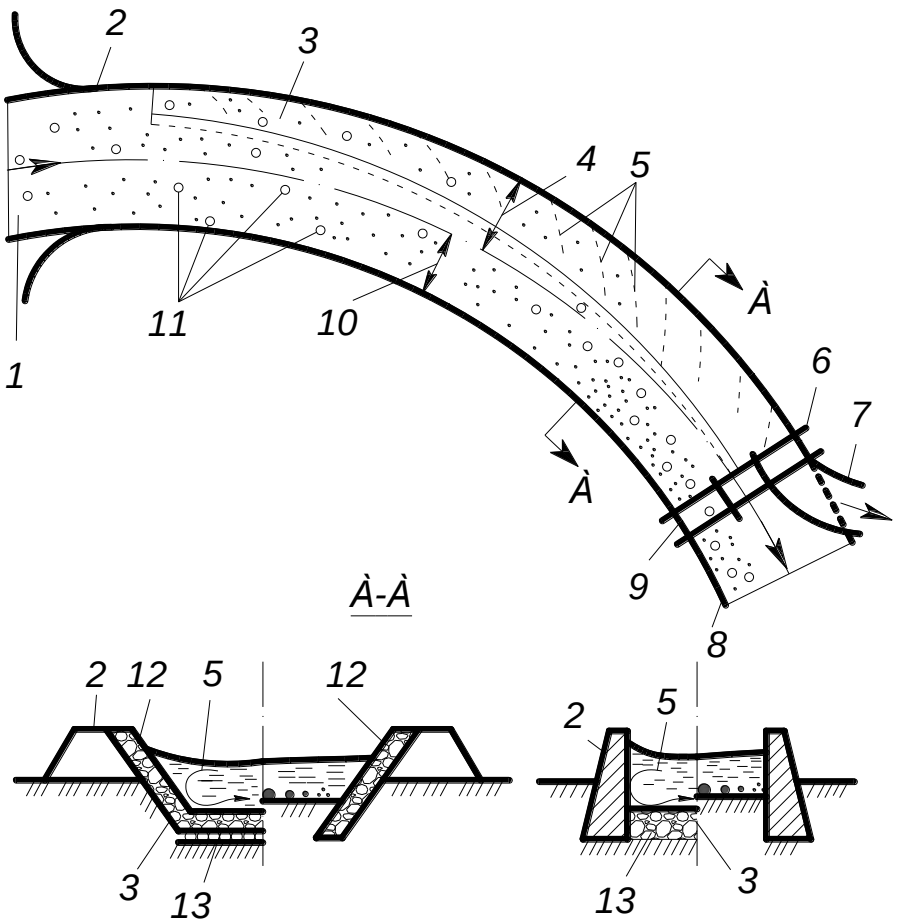


Рисунок 1 — Схема подводящего криволинейного зарегулированного русла с жестким креплением аллювиального ложа вдоль вогнутого берега: *1* — русло реки; *2* — струенаправляющие дамбы: *3* — жесткое крепление; *4* — зона вогнутого берега: *5* — донные поперечные сечения; 6 — створ водозабора; *7* — канал; *8* — отводящее русло; *9* — сбросные речные пролеты; *10* — зона выпуклого берега; *11* — влекомые наносы; *12* — облицовка напорного откоса; *13* — гравийно-галечниковая подготовка

В опытах без крепления ложа и устройства водоприемника радиальные составляющие скорости первоначально формировались между створами *1* и *2* со стороны выпуклого берега (центральные углы поворота 0...10^0). В створе *3* они смещались к вогнутому берегу, в створах *4* и *5* (30...40°) ширина полосы развития радиальных составляющих уменьшалась от *0,5* до *0,15B*, в створах *6 и 7* (50...60°) они развивались по всей ширине русла, а в *8* и *9* (70...80°) максимум осредненных по вертикали радиальных составляющих скорости вновь смещался к выпуклому берегу. В опытах с креплением ложа вдоль вогнутого берега радиальные составляющие скорости первоначально также формировались между створами *1*

и *2* с охватом (в отличие от первого случая) более половины ширины русла. В створах *4* и *5* ширина полосы радиальных составляющих распространялась на все сечение. Поперечные составляющие достигали максимума в створах *7* и *8* (40...50°), то есть на 10...20° раньше, чем в случае без крепления. При креплении ложа осредненные по вертикали радиальные составляющие скорости в створах *2*...*5* (10...40°) больше, чем в русле без крепления, в 2...5 раз.

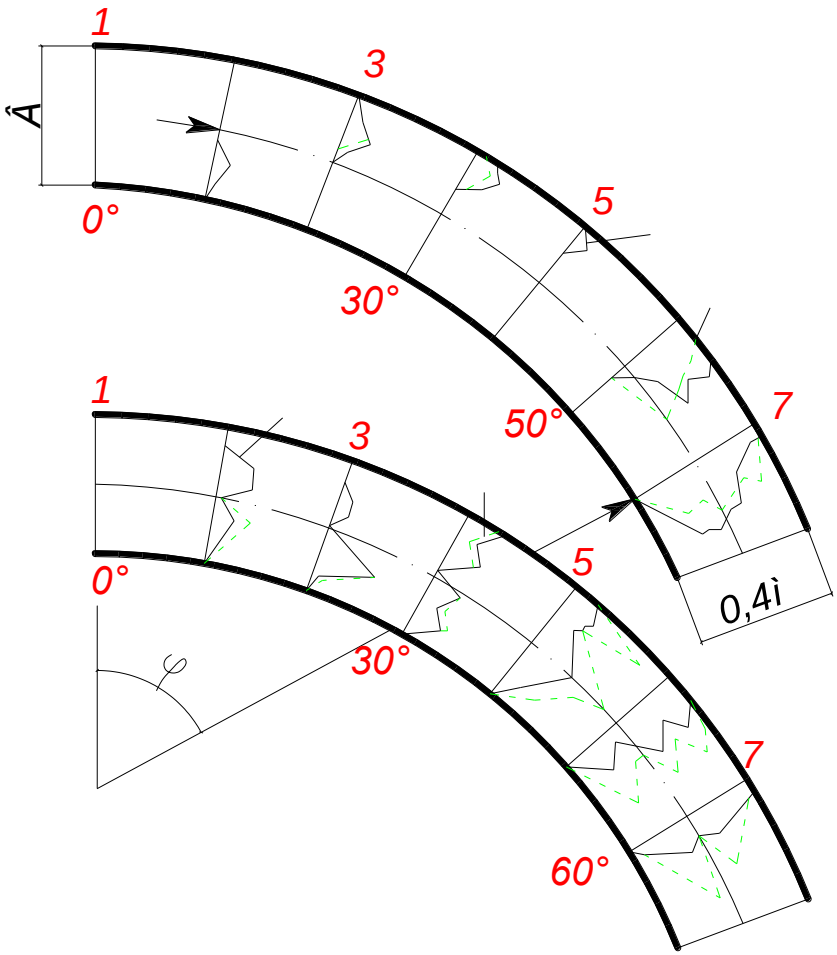


Рисунок 2— Изменение радиальных составляющих скорости по длине поворота: *а, б* — размываемое и закрепленное вдоль вогнутого берега аллювиальное ложе (то же и на рис. 3); *1, 2* — радиальные составляющие скорости соответственно средние по вертикали и придонные на высоте выступов зернистой шероховатости (расход 8 л/с, удельное содержание влекомых наносов 2.5 г/л)

Изменение удельных расходов влекомых наносов q и средневзвешенных диаметров частиц смеси d в плане при донно-решетчатом типе водозабора показано на рис. 3 (q и d нормированы по среднему удельному расходу наносов $q_{ср}$ и диаметру частиц смеси $d_{ср}$, подаваемых на русловую установку) [8-12]. На криволинейном участке без крепления (рис. 3, *а)* в створах *1* и *3* (0...20°) максимальные удельные расходы влекомых наносов под воздействием радиальных составляющих скорости смещались к выпуклому берегу, в *4* и *5* (30...40°) под влиянием расхода смещения — к вогнутому берегу, в зону воронки размыва. В створах *5 и 6*(40...50), где радиальные составляющие скорости минимальные, наносы откладывались вдоль вогнутого берега. В створе *7* (58°) они частично сбрасывались через нанососбросное отверстие, а частично попадали в водоприемник канала (при коэффициенте

водозабора более 0,8). При креплении ложа вдоль вогнутого берега (рис. 3, *б*) максимальные удельные расходы наносов в створах *1* и *3* под воздействием поперечных составляющих скорости смещались к выпуклому берегу. В створах *4* и *5* в отличие от предыдущего случая они транспортировались вдоль выпуклого берега. Это объясняется наличием развитых поперечных донных течений и уменьшением расходов смещения. В створах *6* и *7* (50...58^0) наносы, продолжая транспортироваться вдоль выпуклого берега, попадали в водоприемник канала только при повышенных коэффициентах водозабора — более 0,95.

По средним диаметрам частиц влекомые наносы по ширине и длине зарегулированного русла распределялись неравномерно. Наиболее крупные частицы смещались в сторону вогнутого берега (особенно сильно это проявлялось при отсутствии жесткого крепления) [4, 5, 14, 15].

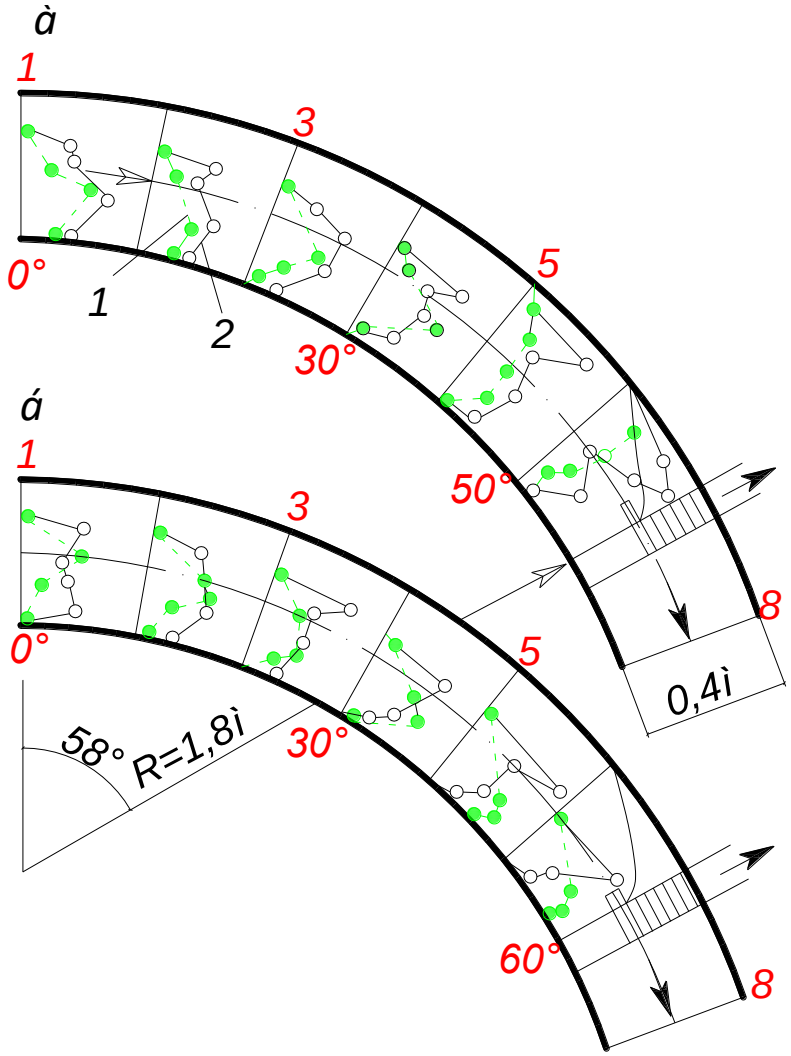


Рисунок 3 — Изменение удельных расходов и средневзвешенных диаметров влекомых наносов по длине поворота: *1, 2* — соответственно относительные удельные расходы и средневзвешенные диаметры влекомых наносов

Заключение

1. Жесткое крепление криволинейного русла обеспечивает более равномерное распределение удельных расходов воды по его сечению, в результате чего повышается эффективность способа борьбы с влекомыми наносами и сокращается время промывки верхнего бьефа от наносов в 1,5...2 раза.

2. Крепление подводящего русла не требует разработки специальных конструкций гидротехнических сооружений и применимо как на построенных, так и проектируемых водозаборах.

3. Поскольку жесткое крепление ложа в зоне криволинейного берега выполняется вместо заглубленной облицовки дамб, то общие капиталовложения в строительство зарегулированного русла не увеличиваются.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бахметьев Б. А. Гидравлика открытых русел. М.: Гострансиздат, 1934. 248 с.
2. Данелия М.В. Водозаборные узлы для горных рек с обильными донными наносами. М.: Колос, 1964. 336 с.
3. Кокоев М.Н. О гидроэнергетических проблемах Кабардино-Балкарии. // Материалы 2-ой Международной НТК. Краснодар, 2009. С.76-79.
4. Корюкин С. Н., Кромер Р. К. Результаты натурных исследований процесса занесения и промыва подпорных бьефов водозаборных сооружений // Труды МГМИ, 1978, Т. 58. С. 186-192.
5. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности // Гидротехническое строительство. 2014. № 8. С. 18-25.
6. Калинин А.В. Кривые расходов малых водотоков при изменении формы транспорта наносов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021, Т.7, №1. С. 23-35. URL: http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2021/02/2021-N1-Kalinin.pdf
7. Кромер Р. К. К анализу продолжительности промыва отложений наносов подпорном бьефе. Труды ТИИИМСХ, 1979. Вып. 102. С. 48-55.
8. Балкизов А.Б., Сасиков А.С., Анахаев А.А., Сасиков Т.А., Балкизов В.А. Укрупненная типизация взвешенных наносов для оценки транспортирующей способности напорного потока // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства. Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2023. С. 19-23.
9. Балкизов А.Б., Сасиков А.С., Балкизов В.А., Сасиков Т.А. Влияние крепления откосов на пропускную способность каналов // Роль науки и технологий в обеспечении устойчивого развития АПК: материалы IX международная научно-практическая конференция, посвященная памяти заслуженного деятеля науки РФ и КБР, профессора Б.Х. Жерукова. Нальчик, 2021. С. 278-283
10. Балкизов А.Б., Шогенова Ж.Х., Кушаева Е.А., Амшоков Б.Х., Сасиков А.С. Исследование гидравлических характеристик в заросших руслах каналов на примере оросительных систем КБР // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2021. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7294.
11. Кокоев М.Н. Переработка аллювия водохранилищ для рекультивации пойменныхземель // Мелиорация и водное хозяйство. 1998. № 4. С. 14-15.
12. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. СПб.: Издательство «Лань», 2022. 656 с.
13. Потапов М.В. Регулирование стока. Москва: Сельхозгиз, 1950. 194 с.
14. Соболин Г.В. Типовая инструкция по эксплуатации водозаборных узлов оросительных систем Киргизии. Ч.1-2. Фрунзе: Кыргызстан, 1985. 367 с.
15. Сольский С.В., Ладенко С.Ю. Проектирование водохозяйственных систем: гидроузлы и водохранилища. СПб.: Издательство «Лань», 2023. 280с.

REFERENCES

1. Bahmetev B.A. *Gidravlika otkrytyh rusel* [Hydraulics of open channels]. M.: Gostransizdat, 1934. 248 p.

2. Daneliya M.V. *Vodozabornye uzly dlya gornyh rek s obil'nymi donnymi nanosami.* [Water intake units for mountain rivers with abundant bottom sediments]. M.: Kolos, 1964. 336 p.

3. Kokoev M.N. *O gidroenergeticheskih problemah Kabardino-Balkarii* [About hydropower problems of Kabardino-Balkaria]. Materialy 2-j Mezhdunarodnoj NTK. Krasnodar, 2009, pp.76-79

4. Koryukin S. N., Kromer R. K. *Rezultaty naturnyh issledovanij processa zaneseniya i promyva podpornyh befov vodozabornyh sooruzhenij* [Results of in-kind studies of the process of deposition and flushing of retaining pools of water intake structures]. *Trudy MGMI,* 1978. V. 58, pp. 186-192.

5. Kosichenko Yu. M., Baev O.A. *Vysokonadezhnye konstrukcii protivofil'tracionnyh pokrytij kanalov vodoemov, kriterii ih effektivnosti i nadezhnosti* [Highly reliable designs of anti-filtration coatings of canals and reservoirs, criteria for their effectiveness and reliability]. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo.* 2014, No. 8, pp. 18-25.

6. Kalinin A.V. *Krivye raskhodov malyh vodotokov pri izmenenii formy transporta nanosov* [Curves of small watercourse discharges with changes in the form of sediment transport]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2021. V.7, No.1, pp. 23-35. URL: http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2021/02/2021-N1-Kalinin.pdf.

7. Kromer R.K. *Kanalizu prodolzhitel'nosti promyva otlozhenij nanosov podpornom befe* [On the analysis of the duration of flushing of sediment deposits in the retaining pool]. *Trudy TIIIMSKH,* 1979. V. 102, pp. 48-55.

8. Balkizov A.B., Sasikov A.S., Anahaev A.A., Sasikov T.A., Balkizov V.A. *Ukrupnennaya ipizaciya vzveshennyh nanosov dlya ocenki transportiruyushchej sposobnosti napornogo potoka* [Large-scale typing of suspended sediments for assessing the transport capacity of a pressure flow]. Innovacionnye resheniya v stroitel'stve, prirodoobustrojstve i mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva. Materialy III Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii. Nalchik, 2023, pp. 19-23.

9. Balkizov A.B., Sasikov A.S., Balkizov V.A., Sasikov T.A. *Vliyanie krepleniya otkosov na propusknuyu sposobnost' kanalov* [The influence of slope lining on the throughput of canals]. Rol nauki i tekhnologij v obespechenii ustojchivogo razvitiya APK: materialy IX mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya pamyati zasluzhennogo deyatelya nauki RF i KBR, professora B.H. Zherukova. Nalchik, 2021, pp. 278-283.

10. Balkizov A.B., Shogenova ZH.H., Kushaeva E.A., Amshokov B.H., Sasikov A.S. *Issledovanie gidravlicheskih harakteristik v zarosshih ruslah kanalov na primere orositel'nyh sistem KBR* [Study of hydraulic characteristics in overgrown canal beds using the example of irrigation systems of the KBR]. *Inzhenernyj vestnik Dona: elektronnyj nauchnyj zhurnal.* 2021. No. 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7294.

11. Kokoev M.N. *Pererabotka allyuviya vodohranilishch dlya rekul'tivacii pojmennyh zemel'* [Processing of alluvium of reservoirs for recultivation of floodplain lands]. *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo.* 1998. No. 4, pp. 14-15.

12. Shterenliht D.V. *Gidravlika* [Hydraulics]. SPb: Izdatelstvo “Lan”, 2022. 656 p.

13. Potapov M.V. *Regulirovanie stoka* [Regulation of flow]. M.: Selhozgiz, 1950. 194 p.

14. Sobolin G.V. *Tipovaya instrukciya po ekspluatacii vodozabornyh uzlov orositelnyh sistem Kirgizii* [Standard instruction for operation of water intake units of irrigation systems of Kyrgyzstan]. Ch.1-2. Frunze: Kyrgyzstan, 1985. 367 p.

15. Solskij S.V., Ladenko S.Yu. *Proektirovanie vodohozyajstvennyh sistem: gidrouzly i vodohranilishcha* [Design of water management systems: hydraulic structures and reservoirs]. SPb.: Izdatel'stvo “Lan”, 2023. 280 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Кокоев Мухамед Нургалиевич – профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет, (360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173), e-mail: kbagrostroy@yandex.ru.	*Kokoev Mukhamed Nurgalievich* – Prof., Dr. Sci. (Eng), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State University, (360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173), e-mail: kbagrostroy@yandex.ru.
Казиев Валерий Михайлович – доцент, кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: val-kaziev@mail.ru.	*Kaziev Valery Mikhailovich* – Assoc. Prof., Ph.D. (Econ), Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1b), e-mail: val-kaziev@mail.ru.
Сасиков Анатолий Сергеевич – доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: rufus1972@mail.ru.	*Sasikov Anatoly Sergeevich* – Assoc. Prof., Ph.D. (Eng), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: rufus1972@mail.ru.
Сасиков Тамирлан Анатольевич – магистрант 2 года обучения, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: sasikov.tamik@mail.ru.	*Sasikov Tamirlan Anatolyevich* – Master's student 2 years of study, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: sasikov.tamik@mail.ru.
Тарчоков Мухамед Романович – аспирант 1 года обучения, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: mukhamedtarchokov888@gmail.com.	*Tarchokov Mukhamed Romanovich* – 1st year postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: mukhamedtarchokov888@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 12.07.2024; одобрена после рецензирования 27.07.2024, принята к публикации 04.08.2024.
The article was submitted 12.07.2024; approved after reviewing 27.07.2024; accepted for publication 04.08.2024.