

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Hydraulic engineering, hydraulics and engineering hydrology

Научная статья

УДК 626/627

doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-16-22

**Новая конструкция берегоукрепительного сооружения для русел
в легкоразмываемых грунтах**

Ахмед Абдулкеримович Созаев^{✉1}, Салигаджи Омарович Курбанов²,
Мухамед Нургалиевич Кокоев³, Абдулла Мухаммед-Саад Баджмук⁴

^{1,2,4}Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова,
проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

³Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, ул. Чернышевского,
173, Нальчик, Россия, 360004

^{✉1}sozaev07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8505-124X>

²05bereg@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5230-7053>

³kbagrostroy@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8967-6392>

⁴abdul.badzhmuk@mail.ru

Аннотация. При проектировании и реконструкции существующих берегоукрепительных сооружений на участках рек, проходящих в предгорной зоне, возникают большие сложности с обеспечением совместной работы сооружений и береговых массивов из-за неустойчивости и легкоразмываемости грунтов русла, протекающих в аллювиальных отложениях. В результате существенно снижается надежность сооружений. От эффективности работы берегозащитных сооружений зависит устойчивость прилегающих территорий и объектов. В статье предлагается эффективное техническое решение по проектированию и строительству нового типа берегоукрепительного сооружения в виде ступенчатой габионной подпорной стенки с анкерованием каждой ступени в тело прибрежной насыпной грунтовой дамбы арматурными решетками. Особенностью предлагаемой конструкции является повышение устойчивости берегоукрепительного сооружения на легкоразмываемых грунтах путем анкерования ступеней подпорной стенки в тело прибрежной насыпной грунтовой дамбы горизонтальными арматурными решетками. Для большей эффективности анкерная решетка укладывается на уровне верха габионного ящика. В отличие от берегоукрепительных сооружений с армогрунтовыми дамбами здесь обеспечивается совместная работа подпорной стенки и берегового массива (дамбы) за счет применения решетчатых анкеров, при этом предлагаемая конструкция проще в исполнении. Тем самым обеспечивается устойчивость и надежность работы подпорных стен.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, легкоразмываемое русло, подпорная стенка, надежность работы, устойчивость, ступенчатая лицевая грань, габионы, усиленные габионные ящики, анкер, анкерная решетка

Для цитирования. Созаев А. А., Курбанов С. О., Кокоев М. Н., Баджмук А. М.-С. Новая конструкция берегоукрепительного сооружения для русел в легкоразмываемых грунтах // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 3(45). С. 16–22.
doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-16-22

Original article

A new design of a shore protection structure for riverbeds in easily eroded soils

Ahmed A. Sozaev^{✉1}, Saligadzhi O. Kurbanov², Mukhamed N. Kokoev³,
Abdulla M.-S. Badzhmuk⁴

^{1,2,4}Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

³Kabardino-Balkarian State University named after. Kh.M. Berbekov, 173 Chernyshevsky Street, Nalchik, Russia, 360004

^{✉1}sozaev07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8505-124X>

²05bereg@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5230-7053>

³kbagrostroy@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8967-6392>

⁴abdul.badzhmuk@mail.ru

Abstract. When designing and reconstructing existing bank protection structures on sections of rivers passing in the foothill zone, great difficulties arise in ensuring the joint operation of structures and coastal massifs due to the instability and easy erosion of channel soils flowing in alluvial deposits. As a result, the reliability of structures is significantly reduced. The stability of adjacent territories and objects depends on the effectiveness of bank protection structures. The article proposes an effective technical solution for the design and construction of a new type of bank protection structure in the form of a stepped gabion retaining wall with anchoring of each step into the body of the coastal embankment dam with reinforcement grids. A feature of the proposed design is to increase the stability of the bank protection structure on easily eroded soils by anchoring the steps of the retaining wall into the body of the coastal earth embankment dam with horizontal reinforcement grids. For greater efficiency, the anchor grid is laid at the level of the top of the gabion box. Unlike bank protection structures with reinforced soil dams, the joint operation of the retaining wall and the coastal mass (dam) is ensured here through the use of lattice anchors, while the proposed design is simpler in execution. This ensures the stability and reliability of the retaining walls.

Keywords: coastal protection structures, easily eroded channel, retaining wall, reliability, stability, stepped front face, gabions, reinforced gabion boxes, anchor, anchor grid

For citation. Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Kokoev M.N., Badzhmuk A.M.-S. A new design of a shore protection structure for riverbeds in easily eroded soils. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2024;3(45):16–22. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2024-3-45-16-22

Введение. Руслообразование – сложный и многофакторный процесс, зависящий от противоэрозионной устойчивости грунтов, скоростей потока, состава и характера перемещения твердого стока, его отложения. Эрозионно-аккумулятивные процессы не постоянны во времени, поэтому все время изменяются условия руслообразования и этот процесс бесконечен. Процесс усложняется тем, что на последующие этапы формирования русла накладываются и влияют результаты предыдущих процессов. Эта особенность больше проявляется у рек с неравномерным стоком, и в частности на участках рек предгорной зоны. Здесь русло реки в основном проходит в ал-

лювиальных отложениях большой мощности, характеризующихся преобладанием в составе песков различной крупности, галечников и гравия.

Составной частью русловых процессов являются процессы денудации (абразии) и аккумуляции в прибрежной зоне рек. Для рек предгорной зоны, русло которых, как правило, проходит в рыхлых легкоразмываемых породах, характерна боковая механическая абразия под действием гидродинамического воздействия воды. В результате в береговом уступе и в основании уступа формируется воронка размыва, происходит её углубление, образуется вертикальный уступ и обрушение

части берега. Процесс неоднократно повторяется. Интенсивность размыва берегов и их локализация зависят от морфологии, строения

берегов и морфодинамического типа русла. Максимально интенсивно берега размываются на вогнутых участках (рис. 1).



Рисунок 1. Размыв автомобильной дороги вдоль реки Черек
Figure 1. Erosion of the highway along the Cherek River

Цель исследования – разработка эффективных технических решений для повышения надежности берегозащитных сооружений на участках рек предгорной зоны, характеризующихся сложными эксплуатационными условиями.

Материалы, методы и объекты исследования. В речных условиях, как правило, применяются берегоукрепительные сооружения пассивного типа. По конструкции выделяют откосные, вертикальные и комбинированные берегоукрепительные сооружения. Наиболее распространены откосные сооружения – плитные, тюфячные и набросные. Плитные крепления с крутизной откоса (уклоном) 1:1,5-1:3 устраивают из сборных или монолитных железобетонных плит толщиной 15-40 см, укладываемых на фильтрующий слой из щебня или синтетического материала. На более пологий откос (крутизной 1:2,5-1:5) укладывают тюфячные покрытия [1, 2].

Набросные берегоукрепительные сооружения из камня или фигурных бетонных блоков различного размера и формы могут вводиться при крутизне откоса 1:1,25-1:1,5. Разновидностями берегоукрепительных сооружений с использованием каменного материала являются каменное мощение и габионы [3–5].

Для участков рек предгорной зоны, проходящих в рыхлых легко размываемых породах сложно обеспечить надежную работу традиционных берегоукрепительных сооружений. Это связано с высокими скоростями и турбулентностью потока, быстонарастающими и нисходящими паводками, провоцирующими процессы фильтрационного противодействия и суффозии, неправильный выбор конструкций крепления и их плохое взаимодействие с береговыми массивами и т. п.

Для этих условий предлагается новый вид ступенчатой габионной подпорной стенки с анкерованием каждой ступени в тело при-

брежной насыпной грунтовой дамбы армированными решетками.

Результаты исследования. В качестве берегозащитного сооружения предлагается ступенчатая подпорная стенка, ступени которой выполнены из сварных габионных ящиков, заполненных каменным материалом. Габионные ящики выполняются из стальных арматурных стержней в виде сварных ящиков с ячейками, образованными поперечными перегородками. На стенки и дно ящиков укладывается габионная сетка и закрепляется к стержням ящиков. Секции плотно заполняются каменным материалом. Ящики сверху так

же закрываются габионной сеткой, прикрепленной по периметру к стенкам ящика.

Практика показывает, что надежность габионных подпорных стенок в качестве берегоукрепительных и берегозащитных сооружений низкая, так как сложно обеспечить их устойчивость на легкоразмываемых грунтах в основании. Поэтому предлагается каждую ступень анкеровать в тело прибрежной насыпной грунтовой дамбы горизонтальными арматурными решетками. Для большей эффективности анкерная решетка укладывается на уровне верха габионного ящика (рис. 2).

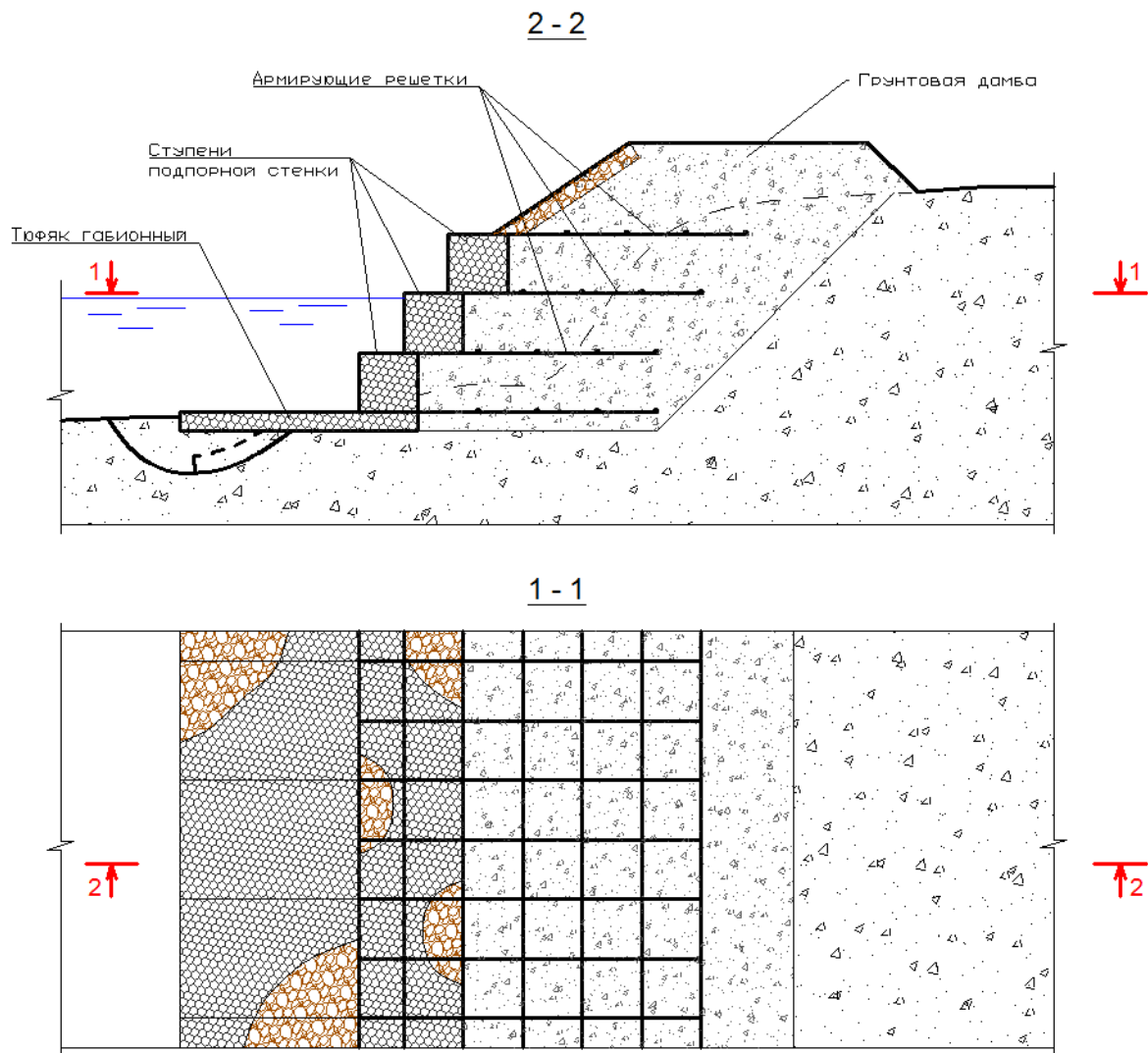


Рисунок 2. Ступенчатая подпорная стенка с решетчатыми анкерами
Figure 2. Stepped retaining wall with lattice anchors

Для предотвращения донного размыва перед подпорной стенкой вдоль основания первой ступени и русла реки устраивается гибкий противоразмывный донный фартук

из габионных матрасов, заполненный гравием и галькой. Причем фартук является основанием подпорной стенки и также анкеруется в основание берегового массива [6, 7].

Подпорная стенка является одновременно и берегозащитным сооружением и дренажным устройством. Поэтому для безопасной фильтрации и предотвращения суффозии под габионные элементы конструкции укладывается геомат [8, 9].

При строительстве подпорной стенки необходимо соблюдать следующую последовательность. Строительство ведется по участкам. На первом участке производится планировка площадки по отметкам низа донного фартука из габионных матрасов и устраивается фартук по слою геомата. Производится обратная засыпка пазуха с уплотнением грунта до верха матраса фартука. Укладывается анкерная решетка и связывается с фартуком. В качестве анкера используется сварная арматурная решетка ячейками $1,0 \times 1,0$ м. Изготавливается сварной габионный ящик из арматурных стержней, изнутри выложенный габионной сеткой, и устанавливается согласно проекту [10, 11]. Габион заполняется каменным материалом. При этом сварной габионный ящик обладает достаточной прочностью и сохраняет форму при использовании в качестве заполнения местного валунного камня и гальки. Поэтому заполнение механизированным способом засыпается в ящик, не требует укладки. Это сильно облегчает и ускоряет строительство. За счет механизации работ и использования местного материала снижаются также и затраты на строительство. После устройства габионов первой ступени подпорной стенки осуществляется послойно обратная засыпка с уплотнением каждого слоя

грунта до верха габионного ящика. Укладывается анкерная решетка и сваривается с ящиком. При этом для большей устойчивости анкерная решетка приваривается и к стержням передней стенки ящика.

Далее аналогично устраиваются вторая и последующие ступени и выше подпорной стенки из местного грунта отсыпается дамба принятого профиля и высоты.

Выводы. Гибкая и водопроницаемая конструкция подпорной стенки работает как защитное сооружение и как дренаж, обеспечивает устойчивость прибрежных откосов. Основные гидродинамические нагрузки паводковых потоков воспринимают усиленные габионы и противоразмывочные матрасы фартука. Ширина фартука B принимается $B > 1,5h_p$, где h_p – максимальная глубина воронки размыва перед сооружением. При размыве русла фартук будет ложиться по откосу воронки и препятствовать дальнейшему распространению размыва в сторону подпорных стен. Отличительной особенностью является совместная работа подпорной стенки и берегового массива (дамбы) за счет применения решетчатых анкеров. Тем самым обеспечивается устойчивость и надежность работы подпорных стен.

Таким образом, предлагаемая подпорная стенка обеспечит надежную защиту прибрежных зон на предгорных участках.

На предлагаемую конструкцию берегоукрепительного сооружения подготовлена заявка на изобретение.

Список литературы

1. Мелиорация и водное хозяйство. 4. Сооружения: справочник / Под ред. П. А. Полад-заде. Москва: Агропромиздат, 1987. 464 с.
2. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин, В. А. Бородин, В. Г. Ганчиков, Ю. М. Косиченко / Под ред. В. С. Алтунина. Москва: Агропромиздат, 1988. 160 с. EDN: RVYSFT
3. Каганов Г. М., Румянцев И. С. Гидротехнические сооружения: учебник. В 2-х кн. Кн. 2. Москва: Энергоатомиздат, 1994. 272 с.
4. Курбанов С. О., Созаев А. А. Природоохранное обустройство и инженерная защита территорий от природных экзогенных процессов: учебно-методическое пособие. Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых, 2015. 120 с. ISBN 978-5-933680-901-9
5. Агостин Рафаэле, Биззари Альберто. Гибкие конструкции с использованием габионов и матрасов Рено в работах по регулированию русел рек. Болонья, 1987.
6. Технические указания по применению габионов для усиления земляного полотна. Москва, 1998.
7. Шевченко К. И. Техничко-экономическое обоснование применения габионных структур для целей инженерной защиты территорий / Моек. Представительство Фирмы «Оффичине Маккаферри». Москва, 1996.

8. Flexible gabion and Reno mattress structures in river and stream training work: Section two. Labanti e Nanni / Officine Maccaferri S.p.A., R. Agostini, F. Ferrario, A. Papetti. Bologna, 1989.
9. Перевозников Б. Ф. Новые прогрессивные решения по применению габионных конструкций в дорожно-мостовом строительстве // Автомобильные дороги: Информ. сб. / Информавтор, 1999. Вып. 6.
10. Пат. 2336389 Российская Федерация; МПК E02B 3/12. Способ возведения подпорных стенок из габионов / С. О. Курбанов, К. С. Курбанов, А. А. Созаев; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «Берег». № 2006127239/03; заявл. 26.07.2006; опублик. 20.10.2008, Бюл. № 29.
11. Курбанов С. О., Созаев А. А. Проблемы инженерной защиты и природоохранного обустройства прибрежных урбанизированных зон малых рек на Юге России // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2016. № 118(04). Доступно по ссылке: URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/55.pdf> (дата обращения: 08.09.2021).

References

1. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. 4. Sooruzheniya: spravochnik. Pod red. P.A. Polad-zade* [Land reclamation and water management. 4. Structures: reference book. Ed. P.A. Polad-zade]. Moscow: Agropromizdat, 1987. 464 p. (In Russ.)
2. Altunin V.S., Borodin V.A., Ganchikov V.G., Kosichenko Yu.M. *Zashchitnyye pokrytiya orositel'nykh kanalov. Pod red. V.S. Altunina* [Protective coatings for irrigation canals. Ed. V.S. Altunin]. Moscow: Agropromizdat, 1988. 160 p. EDN: RVYSFT (In Russ.)
3. Kaganov G.M., Rummyantsev I.S. *Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya: uchebnik. V 2-kh kn. Kn. 2* [Hydraulic structures: textbook. In 2 books. Book 2]. Moscow: Energoatomizdat, 1994. 272 p. (In Russ.)
4. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. *Prirodookhrannoye obustroystvo i inzhenernaya zashchita territoriy ot prirodnykh ekzogennykh protsessov: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Environmental development and engineering protection of territories from natural exogenous processes: educational manual]. Nalchik: Izd-vo M. i V. Kotlyarovykh, 2015. 120 p. ISBN 978-5-933680-901-9. (In Russ.)
5. Rafaele Agostin, Al'berto Bizzari. *Gibkie konstrukcii s ispol'zovaniem gabionov i matrasov Reno v rabotah po regulirovaniyu rusel rek* [Flexible structures using gabions and Reno mattresses in the work on regulating riverbeds]. Bolon'ya 1987. (In Russ.)
6. *Tekhnicheskie ukazaniya po primeneniyu gabionov dlya usileniya zemlyanogo polotna* [Technical instructions for the use of gabions to strengthen the roadbed]. Moscow, 1998. (In Russ.)
7. Shevchenko K.I. *Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye primeneniya gabionnykh struktur dlya tseley inzhenernoy zashchity territoriy. Moyek. Predstavitel'stvo Firmy «Ofichine Makkaferri»* [Feasibility study of the use of gabion structures for the purposes of engineering protection of territories. Moek. Representative office of the "Officine Maccaferri" Company]. Moscow, 1996. (In Russ.)
8. Agostini R., Ferrario F., Papetti A. Flexible gabion and Reno mattress structures in river and stream training work: Section two. Labanti e Nanni. Officine Maccaferri S.p.A. Bologna, 1989.
9. Perevoznikov B.F. *Novyye progressivnyye resheniya po primeneniyu gabionnykh konstruksiy v dorozhno-mostovom stroitel'stve. Avtomobil'nyye dorogi: Inform. sb.* [New progressive solutions for the use of gabion structures in road and bridge construction. Automobile roads: Inform. Sat.]. Informavtodor, 1999. Issue. 6. (In Russ.)
10. Пат. 2336389 Russian Federation; Int. Cl. E02B 3/12. Method for erection of revetment walls of gabions. S.O. Kurbanov, K.S. Kurbanov, A.A. Sozaev; applicant and patent holder Limited Liability Company Scientific and Production Company "Bereg". No. 2006127239/03; application 07.26.2006; publ. 10.20.2008, Bull. No. 29. (In Russ.)
11. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Problems of engineering protection and environmental protection of coastal urban areas of small rivers in the South of Russia. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016;118(04). URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/55.pdf> [Access date: 09.08.2021]. (In Russ.)

Сведения об авторах

Созаев Ахмед Абдулкеримович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8151-1898, Scopus ID: 57219247588

Курбанов Салигаджи Омарович – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 2067-1130, Scopus ID: 7006253868

Кокоев Мухамед Нургалиевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», SPIN-код: 3666-5858, Scopus ID: 7801544555

Баджмук Абдулла Мухаммед-Саад – аспирант кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Information about the authors

Akhmed A. Sozaev – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8151-1898, Scopus ID: 57219247588

Saligadzhi O. Kurbanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 2067-1130, Scopus ID: 7006253868

Mukhamed N. Kokoiev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction Production, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, SPIN-code: 3666-5858, Scopus ID: 7801544555

Abdulla M.-S. Badzhmuk – Postgraduate student of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov

Авторский вклад. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors were directly involved into the planning, execution and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 02.07.2024;
одобрена после рецензирования 22.07.2024;
принята к публикации 01.08.2024.*

*The article was submitted 02.07.2024;
approved after reviewing 22.07.2024;
accepted for publication 01.08.2024.*