

Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-53-62>

УДК 627.8:69.05



БИОИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ И ОБУСТРОЙСТВА ПРИБРЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ МАЛЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ АПК

Н.В. Ханов¹, С.О. Курбанов^{2✉}, О.Н. Черных¹, Ф.Т. Дударова²

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова; 360030, КБР, г. Нальчик, пр-т Ленина, 1В, Россия

Аннотация. Приведено обоснование эффективности применения биоинженерных технологий при защите и обустройстве малых водных объектов и мелиорации прибрежных земель АПК. Используются натурные и теоретические методы исследований известных и авторских технологий возведения берегозащитных сооружений с применением биопозитивных элементов из местных и экологически безопасных искусственных материалов. Представлены разработки инновационных конструкций берегоукрепления и защиты проблемных территорий АПК, в том числе эрозирующих береговых участков малых прудов, рек и каналов небольших оросительных систем. Предложена и апробирована концепция природоприближенного обустройства прибрежных территорий водного объекта, включающая в себя сам водный объект, его пойменные участки и прилегающую площадь водосбора. Проведенные в последние годы исследования различных участков малых рек показали, что применение биопозитивных и гибких конструкций защитно-регуляционных сооружений и их элементов не только обеспечивает надежную инженерную защиту прибрежных зон, но и создают благоприятные условия для восстановления зеленых водоохранных зон. С течением времени построенные сооружения, зарастая травой и кустарниками, сливаются с природной средой, превращаясь в биоинженерные сооружения.

Ключевые слова: биоинженерные технологии, малые водные объекты, биопозитивные конструкции, противоэрозионные крепления, гибкие тьюфаки

Формат цитирования: Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н., Дударова Ф.Т. Биоинженерные технологии защиты и обустройства прибрежных земель малых водных объектов АПК // Природообустройство. 2024. № 3. С. 53-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-53-62>

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

Original article

BIOENGINEERING TECHNOLOGIES FOR THE PROTECTION AND DEVELOPMENT OF COASTAL LANDS OF SMALL WATER BODIES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

N.V. Khanov¹, S.O. Kurbanov^{2✉}, O.N. Chernikh¹, F.T. Dudarova¹

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, Russia

² Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 360030 Nalchik, Lenina avenue, 1B, Russia

Abstract. The rationale for the effectiveness of the use of bioengineering technologies in the protection and development of small water bodies and the reclamation of coastal lands of the agro-industrial complex is given. For this purpose, full-scale and theoretical research methods were used for known and proprietary technologies for the construction of bank protection structures using biopositive elements from local and environmentally friendly artificial materials. The development of innovative designs for bank protection and protection of problem areas of the agro-industrial complex, including eroding coastal areas of small ponds, rivers and canals of small irrigation systems, is presented. A concept

of environmentally friendly development of the coastal territories of a water body, including the water body itself, its floodplain areas and the adjacent catchment area, has been proposed and tested. Studies of various sections of small rivers conducted in recent years have shown that the use of biopositive and flexible designs of protective and regulatory structures and their elements provide not only reliable engineering protection of coastal zones, but also create favorable conditions for the restoration of green water protection zones. Over time, the constructed structures, overgrown with grass and shrubs, merge with the natural environment, turning into bioengineered structures.

Keywords: bioengineering technologies, small water bodies, biopositive structures, anti-erosion fastenings, flexible mattresses

Format of citation: Khanov N.V., Kurbanov S.O., Chernykh O.N., Dudarova F.T. Bioengineering technologies for the protection and development of coastal lands of small water bodies of the agro-industrial complex // Prirodoobustroystvo. 2024. No. 3. P. 53-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-53-62>

The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>.

Введение. К малым водным объектам относятся естественные либо искусственные водные объекты, имеющие относительно небольшие размеры: водоемы с площадью водного зеркала до 1 тыс. га, водотоки длиной до 100 км. Все они играют важную роль при сельскохозяйственном освоении прибрежных земель АПК. Использование водных ресурсов малых водных объектов, как правило, должно осуществляться без нарушения режимов их работы [1, 2]. Обследование гидротехнических сооружений (ГТС), выполненное на мелиоративных гидроузлах и водных объектах АПК за последние 25 лет сотрудниками РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева на равнинной части РФ и КБГАУ им. В.М. Кокова в горной и предгорной частях России, показали, что ввиду интенсивного антропогенного воздействия на картографической сети этих районов самыми загрязненными, истощенными и деформированными оказались зоны малых рек, входящие в состав населенных пунктов, представляющих нижние бьефы низконапорных мелиоративных гидроузлов и водопроводящих сооружений на автодорогах, берега малых водоемов и каналов мелиоративных систем [3, 4].

Наиболее остро проявились за последние 30 лет и являются актуальными как для многих стран мира, так и для нашей страны, особенно Юга России и, в частности, в Кабардино-Балкарии, проблемы инженерного антиэрозионного обустройства малых рек и примыкающих к ним территорий [5, 7, 8]. Вся территория этих регионов изрезана руслами малых рек, причем большая часть инфраструктуры регионов сосредоточена в прибрежных зонах. Для водных объектов речных бассейнов здесь требуются более эффективные методы фитомелиорации либо лесомелиорации водных угодий, и именно на основе применения биоинженерных технологий [6, 7]. При этом

расположенные в прибрежных зонах малых рек сельскохозяйственные земли нуждаются не только в мелиорации, но и в защите от затопления паводковыми водами, а также от возникающих на них эрозионных процессов [3, 9].

Таким образом, назрела серьезная необходимость в использовании совершенно новых приемов обустройства малых водных объектов и мелиорации земель с помощью специальных ГТС, которые обеспечивали бы сохранение и восстановление их экосистемы вместе с защитой водохранимых зон.

Цель исследований: обоснование эффективности применения биоинженерных технологий при защите и обустройстве малых водных объектов и мелиорации прибрежных земель АПК с использованием натуральных и теоретических методов исследований известных и авторских технологий возведения берегозащитных сооружений с применением биопозитивных элементов из местных и экологически безопасных искусственных материалов.

Материалы и методы исследований. На практике при освоении и использовании малых водных объектов для защиты, обустройства и мелиорации прибрежных земель часто не учитывают экологическое состояние и гидрологические режимы работ отдельных участков рек, а также особенности работы их берегоукрепительных, выправительных сооружений, оценки безопасности локальных ГТС. Нет надежных, экспериментально обоснованных научных методов строительства и проектирования защитных сооружений, вместе обеспечивающих надежность работы таких защитно-регуляционных гидросооружений и их экологическую эффективность для зоны ревитализации с использованием местных природных или природоподобных материалов, предназначенных для восстановления земель,

подверженных эрозии разной типологии. В рекреационных и урбанизированных зонах АПК требуются более эффективные способы защиты и восстановления прибрежных земель от размыва и разрушения паводковыми водами малых рек (рис. 1) [9, 10].

В качестве методов исследований были использованы аналитические и натурные методы по оценке состояния существующих ГТС мелиоративных систем разного назначения в полевых условиях. В настоящее время активные комплексные совместные исследования по оценке состояния малых рек и водоемов интенсивно проводятся в границах Юга России, в Кабардино-Балкарии. В задачи исследований входили: оценка антропогенного вмешательства в природный ландшафт прибрежных зон малых рек и прудов; выявление негативных последствий, параметров и стадии протекания русловых процессов на локальных участках водных объектов; исследование причин, препятствующих естественному развитию русловых процессов включая пойменные участки; фиксирование технического состояния и оценка уровня риска, дисбаланса и величины возможного ущерба при экологической либо

гидрологической аварии, нанесенного природной системе водного объекта; разработка предложений по техническим методам реконструкции и обустройства отдельных, сильно эрозирующих участков урбанизированных территорий АПК, с использованием при ревитализации в основном биологических технологий, природоприближенных способов производства работ, при стремлении к применению комбинированных (миксированных) конструктивных решений противоэрозионных сооружений предпочтительно из природных материалов. Одновременно осуществлялся анализ текущего технического состояния локальных ГТС и отдельных элементов оросительных систем поверхностного полива; создавалась база данных по комплексным исходным параметрам водных объектов этих мелиоративных систем (ландшафтным, биологическим, гидрологическим, санитарным и пр.); разрабатывалась концепция природоприближенной реконструкции обслуживаемых водные объекты природоохранных и гидротехнических сооружений, используемых при ренатурировании водных систем, а также и инновационных биопозитивных конструкций, направленных в целом на охрану природы [7-10].



а



б



в



г

Рис. 1. Современное состояние урбанизированных участков р. Нальчик в районах г.о. Нальчик, 2020 г. (фото авторов):

- а – разрушенный участок берегоукрепительных сооружений в районе парка Долинск;
 б – в районе Вольного аула; в – разрушенный перепад в районе Курортных озер;
 г – разрушенная дамба в районе Александровки

Fig. 1. The current state of the urbanized sections of the Nalchik River in the districts of the city of Nalchik, 2020 (photo by the authors):

- а – destroyed section of bank protection structures in the area of Dolinsk Park;
 б – in the area of the Volny aul.; в – destroyed drop in the area of the Resort Lakes;
 г – destroyed dam in the area of Aleksandrovka

Полевые наблюдения в рамках мониторинга безопасности ГТС Кабардино-Балкарии были направлены на ряд малых рек, наиболее урбанизированных в Республике: Баксан, Нальчик, Чегем, Черек, Шалушка. На соответствующих участках этих рек в предусмотренном объеме проводились наблюдения за деформациями откосов, берм и верховых пригребневых участков склонов водотоков; оценивалось состояние креплений откосов и неукрепленных участков рек; фиксировались параметры и развитие эрозионных зон и трещин в укреплениях, размывов откосов и берегов; анализировались причины осадок, просадок, оползней, трещин, подвижек грунтовых масс, причин разрушения существующих жестких, укрепляющих берег конструкций; изучалось состояние примыканий к берегозащитным сооружениям (рис. 2). Помимо этого, была выполнена серия наблюдений на малых водозащитных объектах оросительных систем с поверхностным поливом, работающих в предгорье Кабардино-Балкарии [6-8]. В результате были предложены и запатентованы несколько десятков вариантов инновационных решений защитно-регуляционных ГТС биопозитивной конструкции, которые легко технологически и функционально вписывались в ландшафт и органично входили в состав биоинженерных систем природообустройства вдоль береговой зоны малых рек АПК. Некоторые из них, полученные за последние годы, описаны ниже и приведены в специализированных источниках информации [11-16].

Результаты и их обсуждение. На основании анализа работы построенных и эксплуатируемых в течение последних 5 лет берегозащитных

укреплений были предложены конструкции, совмещающие как функциональные, так и новейшие технологические решения защитно-выправительных сооружений, базирующихся на использовании методов инженерной биологии, биотехнологии и опирающихся на применение природных строительных материалов.

Для защиты предварительно обследованных территорий, подверженных экзогенным процессам, предложен ряд защитно-регуляционных гидротехнических конструктивных элементов. Компонуя такие биопозитивные конструкции и объединяя их в целые биоинженерные системы, можно относительно быстро обеспечить восстановление нарушенных проблемных земель (рис. 3, 4). Эти новые запатентованные сооружения одновременно выполняют и инженерные, и биологические функции и практически сразу «роднятся» с природой.

Основу концепции, предложенной кандидатом технических наук С.О. Курбановым по результатам проведенных исследований, представляют биопозитивные системы из тюфячных элементов плоской или цилиндрической формы (рис. 3а) [6, 8, 11]. Биоинженерные конструкции разработаны применительно к локальным участкам равнинных рек, а также малых прудов, устраиваются в местах, где при обострении гидрологической ситуации возможно опасное воздействие паводковых вод, и как следствие – размывы и обрушения откосов водного объекта. В состав габионного тюфяка, укладываемого в русле равнинных участков водотоков ($i = 0,0002...0,001$), обычно входит оболочка из металлической сетки, геотекстиль и георешетка, ячейки которой можно



Рис. 2. Состояние береговых откосов р. Терек в границах участка натуральных испытаний биопозитивных конструкций берегозащиты, разработанных применительно к району равнинной зоны Республики Дагестан (фото авторов):

а – после первых паводков при строительстве 2005 г.; б – после 10 лет эксплуатации, 2015 г.

Fig. 2. The state of the Terek River shore slopes within the boundaries of the site of full-scale tests of biopositive bank protection structures developed in relation to the area of the plain zone of the Republic of Dagestan (photo by the authors):

а – after the first floods during construction in 2005; б – after 10 years of operation, 2015

| | |
|--|--|
| | <p>а – габионный тюфяк, пат. № 2685192: 1 – подготовка; 2 – металлическая сетка; 3 – геотекстиль; 4 – георешётка; 5 – ячейки, заполненные местным грунтом; 6 – щебень либо гравий; 7 – геосетка</p> <p>a – gabion mattress, pat. No2685192: 1 – preparation; 2 – metal mesh; 3 – geotextile; 4 – geogrid; 5 – cells filled with local soil; 6 – crushed stone or gravel; 7 – geogrid</p> |
| | <p>б – тяжёлая фашина, пат. № 183818: 1 – мешки с грунтом, листьями вперемежку с сухой травой, выполненные из геосетки; 2 – геоматы; 3 – оцинкованная проволока; 4 – ручки-петли для укладки и связки фашин между собой</p> <p>b – heavy fascine, stalemate. No183818: 1 – bags with soil, leaves interspersed with dry grass, made of geogrid; 2 – geomats; 3 – galvanized wire; 4 – loop handles for laying and tying fascines together</p> |
| | <p>в – противоэрозионное крепление, пат. № 2758239: 1 – цилиндрические тюфяки; 2 – лёгкие фашины на основе камыша; 3 – перфорированные трубы; 4 – чехол из геосетки; 5 – сетка из металла или стеклокомпозита; 6 – колья из металла либо стеклопластика, прижимающие сетку к земляному основанию</p> <p>c – anti-erosion fastening, pat. No2758239: 1 – cylindrical mattresses; 2 – light fascines based on reeds; 3 – perforated pipes; 4 – geogrid cover; 5 – mesh made of metal or glass composite; 6 – stakes made of metal or fiberglass, pressing the mesh to the earth base</p> |
| | <p>г – противоэрозионное крепление из гибких тюфяков, пат. № 2800940: 1 – цилиндрический тюфяк; 2 – биомат; 3 – перфорированные трубы в геосетке 4; 5 – ряды двух – трёхслойных геоматов; 6 – полимерная сетка, покрывающая плоскость укрепления; 7 – колья или кольшики</p> <p>d – anti-erosion fastening made of flexible mattresses, pat. No2800940: 1-cylindrical mattress; 2 – biomat; 3 – perforated pipes in geogrid 4; 5 – rows of two- to three-layer geomats; 6 – polymer mesh covering the reinforcement plane; 7 – stakes or pegs</p> |
| | <p>д – подпорная стенка арматурной конструкции, пат. № 2801714: 1 – многоступенчато уложенные габионные тюфяки; 2 – дренажные перфорированные трубы; 3 – геомат; 4 – габионная сетка; 5 – гибкие армирующие плиты; 6 – стеклопластиковая сетка; 7 – объёмные георешётки; 8 – первый ряд габионных тюфяков; 9 – фартук из георешеток, нагруженный гравием и галькой</p> <p>e – retaining wall of the armasoil structure, pat. No 2801714: 1 – multi-stage gabion mattresses; 2 – drainage perforated pipes; 3 – geomat; 4 – gabion mesh; 5 – flexible reinforcing plates; 6 – fiberglass mesh; 7 – volumetric geogrids; 8 – first row of gabion mattresses; 9 – apron made of geogrids, loaded with gravel and pebbles</p> |
| | <p>ж – подпорная стенка комбинированной конструкции, пат. № 2801750: 1 и 2 – ступени подпорной стенки; 3 – тяжёлые фашины из мешков, заполненных местным растительным грунтом; 4 – габионные тюфяки из слоёв биомата и перфорированных труб; 5 – гибкие габионные тюфяки; 6 – геомат; 7 – фартук из гибких плит с объёмными георешётками 8; 9 – биомат; 10 – дренажные перфорированные трубы</p> <p>f – retaining wall of a combined structure, pat. No 2801750: 1 and 2 – retaining wall steps; 3 – heavy fascines from bags filled with local vegetable soil; 4 – gabion mattresses made of biomat layers and perforated pipes; 5 – flexible gabion mattresses; 6 – geomate; 7 – apron made of flexible slabs with volumetric geogrids 8; 9 – biomat; 10 – drainage perforated pipes</p> |

Рис. 3. Инновационные гибкие и биопозитивные конструкции, разработанные ООО ИЦ «ЭКОБЕРЕГ» для укрепления и обустройства водных объектов АПК [11-16]
 Fig. 3. Innovative flexible and biopositive structures developed by ECOBEREG ITS LLC for strengthening and development of water bodies in the agro-industrial complex [11-16]

заполнить местным грунтом и пригрузить мелким камнем. Опыт эксплуатации показал, что деформации подстилающих грунтов по причине гибкости и водопроницаемости конструкции при волновом воздействии потока под таким креплением практически отсутствуют [5-7].

Главным элементом многих конструкций является и тяжелая гибкая фашина (рис. 3б) [12], оболочка из геосетки которой после заполнения сухими растительными остатками и геоматом схватывается оцинкованной проволокой. При формировании защитного полотна на склоне водного объекта тяжелую фашину собирают из разных элементов, которые выполняют одну общую задачу – создание строительного облегченного изделия для укрепления и защиты от водной эрозии проблемного участка откоса территории АПК. При этом объемный тюфяк любого видоразмера и его составляющие изготавливаются вручную непосредственно на месте установки конструкции.

Надежно работает микшированная биопозитивная конструкция, состоящая из цилиндрических тюфяков, объединяющих легкие фашины и перфорированные трубы с геосеткой (рис. 3в) [13]. Обладаящее высокой степенью гибкости, такое водопроницаемое антиэрозионное укрепление можно использовать и как эффективное дренажное устройство. Основные гидродинамические нагрузки поверхностного потока равномерно рассредоточиваются при такой конструктивной схеме по всей защищаемой склоновой поверхности участка ренатурирования, что не только обеспечивает русловым элементом водного объекта защиту от эрозии и размывов ветром и водой при атмосферных катаклизмах, но и способствует восстановлению нарушенного почвенного покрова. Использование сочетания гибких тюфяков, прикрепленных к поверхности земли кольями из металла или стеклопластика и легких фашин, обладает хорошим эффектом в труднодоступных горных и предгорных рекреационных и охраняемых зонах эродированных участков АПК.

После усовершенствования антиэрозионное укрепление (рис. 3г) получило способность обеспечения долгосрочной экологичной и стабильной работы не только самого водотока или водоема, но и его пойменного участка или зоны прилегающей к нему площади водосборного бассейна АПК. Все элементы, входящие и ранее в состав таких биопозитивных конструкций [14], постепенно включаясь в работу, вносят свой вклад в защиту проблемного участка от эрозии. Так, в период ливней нерасчетной обеспеченности

высокоскоростной поверхностный поток, идущий с водосбора, воздействуя на верхние слои усовершенствованной конструкции из гибких тюфяков, одновременно частично заиливает ее верхнюю часть и снимает значительную долю гидродинамической нагрузки [14]. Оставшаяся часть потока уже не способна активно участвовать в контактном размыве, а часто, наоборот, частично восстанавливает деформированные участки склона, заиливая их, что в итоге приводит к восстановлению нарушенного одернованного участка берега.

Сегодня при ремонте набережных и подпорных стенок все чаще стали использовать при реконструкции трансграничных участков береговых зон водотоков и водоемов армогрунтовые элементы (рис. 3д) [15]. В них выполненная из габионных тюфяков с армирующими гибкими же плитами многоступенчатая конструкция сочетает в себе перфорированные трубы с геоматами и сеткой. При этом в основании склона к первому ряду тюфяков крепится гибкая плита в виде фартука, устроенного вдоль русла реки и пригруженного сверху гравием и галькой. Главную часть гидродинамических нагрузок от грунтового массива и фильтрационного потока воды воспринимают габионные тюфяки с армирующими элементами, ступенчато врезанные в откос. В подпорном сооружении, по причине гибкости его конструктивных элементов (тюфяков и плит), связывающих грунт слоями, происходит их совместная работа с грунтовым массивом в виде армогрунтовой конструкции. Она же обеспечивает устойчивость обрушаемого откоса, перехват и отвод фильтрационного потока, что довольно надежно удерживает обрушающийся массив от возможного сползания. За счет использования объемных георешеток удерживающие силы увеличиваются более чем в 2 раза по сравнению со сдвигающими силами. Использование геомата, представляющего собой экологически безопасный искусственный материал, дает возможность повысить гибкость, долго сохранять влагу в объеме природоохранного или природоподобного сооружения и долго обеспечивать водопроницаемость конструкции в целом. Вкупе с «живыми» материалами такие конструкции способствуют регенерации и саморегулированию своей популяции, оптимизируют условия генерирования роста новых корней и почек кустарников и густоту травянистой растительности на склонах водного объекта.

Фиксированная конструкция подпорной стенки прибрежного крепления водного объекта, состоящая из стенок с двумя ступенями, формируемыми тюфяками и тяжелыми фашинами (рис. 3ж), работает не только как подпорное

сооружение, но и как эффективный дренаж [16]. По сравнению с армогрунтовой подпорной стенкой здесь весьма широко используется биомат, который является слоями габионных тюфяков и обволакивает дренажные перфорированные трубы. При остальных аналогичных достоинствах эта конструкция обеспечивает более полный перехват и безопасный отвод грунтового фильтрационного потока дренажными устройствами тюфяков, создает качественные фитомелиоративные условия на береговом склоне и эффективно работает как подпорная стенка при защите русел малых рек на труднодоступных участках предгорья.

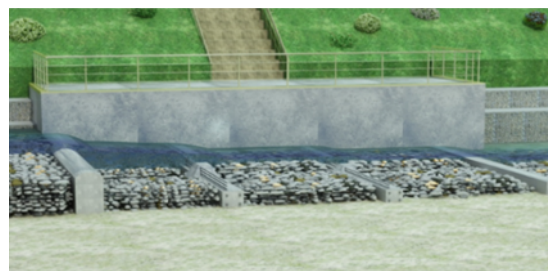
Авторами разработаны и модели биоинженерных систем для регулирования и защиты урбанизированных участков малых рек. На рисунке 4 приведены некоторые схемы моделей, разработанных для участка р. Нальчик по защите г. Нальчика.

В последние десятилетия на опытных участках малых рек Нальчик, Шалущка и Чегем были построены берегоукрепительные и выправительные сооружения авторской разработки [10-16]. Результаты мониторинговых

наблюдений показали высокую способность разработанных биопозитивных конструкций формировать надежное антиэрозионное укрепление, оказывающее эффективное сопротивление размывающему действию воды, появлению очагов эрозии грунтов, слагающих берег. Во время полевых испытаний установлено, что многие элементы такого биокомпозитного укрепления успешно воспринимают растягивающие напряжения, передают и перераспределяют силовое воздействие, в том числе на грунтовое основание берегового склона. С течением непродолжительного времени составными конструктивными элементами из частей древесной растительности они создают свою корневую систему, зарастают кустарниками и травой, образуя целые растительные сообщества. Озеленяя и участвуя в культурно-ландшафтном обустройстве территории, береговые зоны с таким укреплением не только получают эрозионную устойчивость, но и приобретают естественный вид нетронутого растительного покрова и стабилизированной природной среды (рис. 2, 5). Расчетами и актами подтверждено, что в некоторых случаях материальные затраты



а



б

Рис. 4. Модели биоинженерных систем для регулирования участка р. Нальчик при ревитализации и создании защиты г. Нальчика от затопления:

а – зарегулированный участок; б – схема возведения биоинженерного сооружения

Fig. 4. Models of bioengineering systems for regulating the section of the Nalchik River during revitalization and creation of protection of the city of Nalchik from flooding:

a – regulated section; b – scheme of the construction of a bioengineering structure



Рис. 5. Участок берегоукрепительного сооружения на р. Шалущка, построенный с возведением подпорных стен из габионов по патенту № 2336389 (фото авторов)

Fig. 5. A section of the bank protection structure on the Shalushka River, built with the construction of retaining walls made of gabions under patent No 2336389 (photo by the authors)

при использовании противоэрозионного запатентованного берегоукрепительного сооружения снижаются не менее чем в два раза на единицу длины склона по сравнению с использованием на этом участке железобетонного покрытия разного типа [9]. Выявлены такие важные показатели эффективности применения биоинженерных технологий при строительстве защитно-регуляционных сооружений, как гибкость и прочность их конструкции, экологичность и экономичность, водопроницаемость, технологичность и быстрота возведения.

Выводы

Результаты исследований и натурных наблюдений подтверждают эффективность применения биоинженерных технологий при защите и обустройстве малых водных объектов и прибрежных земель АПК, расположенных как на предгорных, так и на равнинных участках. Ориентировочный подсчет дает уменьшение не менее чем в два раза материальных затрат

на единицу длины укрепленного склона водотока по сравнению с устройством как жесткого, так и гибкого противоэрозионного крепления из традиционных и искусственных материалов.

В дальнейшем, по итогам реализации полной программы проекта внедрения биоинженерных технологий в практику водохозяйственного строительства, планируется разработка полноценного алгоритма проектирования природоприближенной реконструкции ранее уже зарегулированных и застроенных водных объектов. Условием при этом должно оставаться стремление сохранить естественные биотопы и восстановить при ренатурировании характерные очертания береговой линии, растительные и животные сообщества; обеспечить создание либо соблюдение адекватных естественному русловым формам движения рифелей, планово-высотные макроструктурные образования на ревитализированных водотоках; восстановить прибрежную территорию в границах участков водосбора, ранее бывших эродированными.

Список использованных источников

1. Краснощеков В.Н., Ольгаренко Д.Г. Модернизация мелиоративных систем как главный фактор обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны // Природообустройство. 2016. № 4. С. 51-57.
2. Кривицкий С.В. Методы биоинженерной геоэкологии при проведении экологической реабилитации природных объектов // Вестник МГСУ. 2009. № 4. С. 285-290.
3. Черных О.Н., Ханов Н.В. Водные объекты в АПК и их эксплуатация // Картофель и овощи: Научно-практический журнал. 2019. № 11. С. 6-10.
4. Гурьев А.П. Использование композиционных геоматов для борьбы с водной эрозией / Ханов Н.В., Еремеев А.В. и др. Монография. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. 253 с. ISBN: 978-5-9675-1791-4
5. Курбанов С.О., Ханов Н.В., Черных О.Н. Проблемы и пути решения вопросов инженерной защиты и восстановления прибрежных нарушенных земель городских территорий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 38-46.
6. Курбанов С.О., Созаев А.А. Обоснование концепции создания биоинженерных систем защиты и восстановления земель прибрежных и рекреационных зон // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 8. С. 34-39.
7. 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. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/55.pdf> (дата обращения: 08.09.2021).
8. Kurbanov S., Sozaev A., Shogenov A., Karshiev A. Bioengineering systems for the protection and improvement of urbanized areas of coastal and recreational areas // In the collection: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021).

References

1. Krasnoshchekov V.N., Olgarenko D.G. Modernization of reclamation systems as the main factor in ensuring the country's food and environmental security // Prirodoobustrojstvo. 2016. No. 4. pp. 51-57.
2. Krivitsky S.V. Methods of bioengineering geocology when carrying out environmental rehabilitation of natural objects. / Bulletin of MGSU. No. 4. 2009. pp. 285-290.
3. Chernykh O.N., Khanov N.V. Water bodies in the agro-industrial complex and their exploitation // Potatoes and vegetables: scientific and practical. magazine 2019. No. 11. pp. 6-10.
4. Guryev A.P. The use of composite geomats to combat water erosion / Guryev A.P., Khanov N.V., Eremeev A.V., Kozlov K.D., Fartukov V.A., Shchukin S.N. / Monograph. M.: RGAU-MSHA, 2020. 253 p. ISBN: 978-5-9675-1791-4
5. Kurbanov S.O., Khanov N.V., Chernykh O.N. Problems and ways to solve issues of engineering protection and restoration of coastal disturbed lands in urban areas // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 1. pp. 38-46.
6. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Justification of the concept of creating bioengineering systems for the protection and restoration of lands in coastal and recreational zones // Ecology and Industry of Russia. 2020. T. 24. No. 8. P. 34-39.
7. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Problems of engineering protection and environmental development of coastal urbanized zones of small rivers in the South of Russia // Polythematic network electronic scientific journal of KubSAU. Available at the link: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/55.pdf> [Access date: 09/08/2021].
8. Kurbanov S., Sozaev A., Shogenov A., Karshiev A. Bioengineering systems for the protection and improvement of urbanized areas of coastal and recreational areas / In the collection: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. pp. 30-35.

E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. Pp. 30-35.

9. **Черных О.Н., Ханов Н.В., Бурлаченко А.В.** Берегоукрепительные конструкции водных объектов: учебное пособие. Ч. 2. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. 185 с.

10. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Balkizov A.B.** Effective technical solutions for channel regulation small rivers and construction of reclamation water intakes // Science Education Practice proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto). 2020. September 30. Infinity Publishing. Pp. 117-130.

11. Габионный тюфяк гибкой конструкции: **Патент № 2685192.** Российская Федерация. МПК E02B 3/12 / Курбанов С.О., Жемгуразов С.М., Хасанов М.М. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2018123261/13. Заяв. 26.06.2018; опубл. 16.04.2019. Бюл. № 11. 6 с.: ил.

12. Тяжелая фашина гибкой конструкции: **Патент № 183818.** Российская Федерация. МПК E02B 3/12 / Курбанов С.О., Созаев А.А., Кушаева Е.А. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2018122327/13. Заяв. 18.06.2018; опубл. 04.10.2018. Бюл. № 28. 6 с.: ил.

13. Противоэрозионное крепление биопозитивной конструкции: **Патент № 2758239.** Российская Федерация. МПК E02B 3/00 / Курбанов С.О., Настаева Ж.Х., Шалов И.Т. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 2020131904. Заяв. 25.09.2020; опубл. 26.10.2021. Бюл. № 30. 6 с.: ил.

14. Способ возведения противоэрозионного крепления из гибких тюфяков: **Патент № 2800940.** Российская Федерация. МПК E02B 3/00 / Курбанов С.О., Курбанов К.С., Настаева Ж.Х. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. № 202131540. Заяв. 01.12.2022; опубл. 01.08.2023. Бюл. № 22. 6 с.: ил.

15. Подпорная стенка армогрунтовой конструкции для защиты прибрежных зон от обрушения и размыва: **Патент № 2801714.** Российская Федерация. МПК E02B 3/06 / Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева. № 2022128586. Заяв. 03.11.2022; опубл. 15.08.2023. Бюл. № 23. 6 с.: ил.

16. Способ возведения подпорной стенки комбинированной конструкции для защиты прибрежных зон от размыва: **Патент № 2801750.** Российская Федерация. МПК E02B 3/06 / Ханов Н.В., Курбанов С.О., Зборовская М.И. Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева. № 2022128587. Заяв. 03.11.2022; опубл. 15.08.2023. Бюл. № 23. 6 с.: ил.

9. **Chernykh O.N., Khanov N.V., Burlachenko A.V.** Bank protection structures of water bodies. part 2. M.: RGAU–MSHA, 2020. – 185 p.

10. **Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Balkizov A.V.** Effective technical solutions for channel regulation of small rivers and construction of reclamation water intakes / Science Education Practice proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto), September 30, 2020. – Infinity Publishing. P. 117-130.

11. **Pat. 2685192** Russian Federation IPC E02B3/12. Gabion mattress of flexible design. Kurbanov S.O., **Zhemgurazov S.M.**, Khasanov M.M.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 2018123261/13; application 06.26.18; publ. 04/16/2019, Bulletin. No. 11. 6 p.: ill.

12. **Pat. No. 183818** Russian Federation IPC E02B3/12. Heavy fascine of flexible design. Kurbanov S.O., **Sozaev A.A.**, Kushaeva E.A.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 2018122327/13; application 06/18/18; publ. 10/04/2018, Bulletin. No. 28. 6 p.: ill.

13. **Pat. No. 2758239** Russian Federation IPC E02B3/00. Anti-erosion fastening of biopositive design. Kurbanov S.O., **Nastaeva Zh.Kh.**, Shalov I.T.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 2020131904; application 09.25.2020; publ. 10/26/2021, Bulletin. No. 30. 6 p.: ill.

14. **Pat. No. 2800940** Russian Federation IPC E02B3/00. A method for constructing anti-erosion fastenings from flexible mattresses. Kurbanov S.O., **Kurbanov K.S.**, Nastaeva Zh.Kh.; applicant and patent holder FSBEI HPE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova. No. 202131540; application 12/01/2022; publ. 08/01/2023, Bulletin. No. 22. 6 p.: ill.

15. **Pat. No. 2801714** Russian Federation MПК E02B3/06 Retaining wall of reinforced soil structure to protect coastal zones from collapse and erosion. Khanov N.V., **Kurbanov S.O.**, Chernykh O.N.; applicant and patent holder FSBEI HPE Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev. No. 2022128586; application 03.11.2022; publ. 08/15/2023, Bulletin. No. 23. 6 p.: ill.

16. **Pat. No. 2801750** Russian Federation MПК E02B3/06 Method for constructing a retaining wall of a combined structure to protect coastal zones from erosion. Khanov N.V., **Kurbanov S.O.**, Zborovskaya M.I.; applicant and patent holder FSBEI HPE Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev. No. 2022128587; application 03.11.2022; publ. 08/15/2023, Bulletin. No. 23. 6 p.: ill.

Сведения об авторах

Нартмир Владимирович Ханов, д-р техн. наук, профессор; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Салигаджи Омарович Курбанов, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AAB-7875-2020; Scopus AuthorID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; AuthorID: 361638; Kurbanov-salih@rambler.ru

Ольга Николаевна Черных, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Фатима Толовна Дударова, научный сотрудник; ORCID: 0000-0003-0191-5950; fdudarova@mail.ru

About the authors

Nartmir V. Khanov, DSc (Eng), professor; WoS ResearcherID: L-1087-2013; Scopus AuthorID: 6603959022; ORCID: 0000-0002-5764-4734; SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru

Saligadzhi O. Kurbanov, CSc (Eng), associate professor; WoS ResearcherID: AAB-7875-2020; Scopus AuthorID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; AuthorID: 361638; Kurbanov-salih@rambler.ru

Olga N. Chernikh, DSc (Eng), professor; WoS ResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID:0000-0003-2905-446X; SPIN-код:7757-7969; AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Fatima T. Dudarova, research associate; ORCID: 0000-0003-0191-5950; fdudarova@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ханов Н.В., Курбанов С.О., Черных О.Н., Дударова Ф.Т. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 12.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

Khanov N.V., Kurbanov S.O., Chernykh O.N., Dudarova F.T. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.