

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Обзорная статья
УДК 627.41

Анализ отечественного опыта проведения берегозащитных мероприятий на каналах

Дмитрий Сергеевич Рыбалко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, ruba4eks@yandex.ru

Аннотация. Цель: анализ отечественного опыта проведения берегозащитных мероприятий на мелиоративных каналах. Для обеспечения продовольствием с 60-х гг. XX века все развитые страны стали активно развивать агропромышленный комплекс, расширяя площадь земель сельскохозяйственного назначения и развивая системы мелиорации. В основном доступные площади земель сельскохозяйственного назначения уже эксплуатируются. Однако в ближайшем будущем численность населения увеличится в два раза, соответственно, необходимы решения для увеличения объемов продукции на тех же площадях за счет повышения уровня мелиорации. **Обсуждение.** Практически, по мнению автора, необходимо внести в регламент обязательного применения различных геосинтетических покрытий на мелиоративных системах. При повышении участия поддержки государства в текущем обслуживании мелиоративных систем, мы исключим выход из оборота изношенных сооружений до момента проведения реконструкции, тем самым ускорив темпы роста всего агропромышленного комплекса. **Выводы.** В статье рассмотрены основные способы берегоукреплений мелиоративных каналов для нового строительства, а также некоторые разработки, применяемые для ремонта деформаций каналов в земляном русле. Для качественного поддержания мелиоративных систем в работоспособном состоянии необходимо в масштабах каждого региона разработать и утвердить типовые способы ремонта гидротехнических сооружений и технологические карты ремонтных работ. В конкретном регионе состав материалов должен быть доступен согласно разработанным типовым способам ремонта. Ввиду наличия доказательной базы практического применения геосинтетических материалов необходимо централизованное производство заготовок и снабжение ими эксплуатирующих организаций (геотекстильные мешки, маты, мембраны, решетки) для оперативного применения и исключения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: мелиоративный канал, укрепление откосов, берегоукрепление, геосинтетический материал, берегозащита

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 30 мая 2025 г.).

Для цитирования: Рыбалко Д. С. Анализ отечественного опыта проведения берегозащитных мероприятий на каналах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 96, № 2. С. 35–52.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION AND HYDRAULIC ENGINEERING

Review article

Analysis of domestic experience in realizing coastal protection measures on canals

Dmitry S. Rybalko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, ruba4eks@yandex.ru

Abstract. Purpose: analysis of domestic experience in coastal protection measures on irrigation canals. To ensure food supplies, since the 1960s all developed countries have been actively developing the agro-industrial complex, expanding the area of agricultural land and developing reclamation systems. Basically, the available areas of agricultural land are already being used. However, in the near future the population will double, so solutions to increase the volume of production on the same areas by increasing the level of reclamation are needed. **Discussion.** In practice, in the author's opinion, it is necessary to amend the regulations for the mandatory use of various geosynthetic coatings on reclamation systems. By increasing the participation of state support in the current maintenance of reclamation systems, the withdrawal of worn-out structures from circulation until the moment of reconstruction will be excluded, thereby accelerating the growth rate of the entire agro-industrial complex. **Conclusions.** The main methods of bank strengthening of reclamation canals for new construction, as well as some developments used in repairing canal failures in the earthen channel are considered. For high-quality maintenance of reclamation systems in working condition, it is necessary to develop and approve standard methods of repairing hydraulic structures and flowcharts of repair works on the scale of each region. The material composition in a specific region should be available according to the developed standard methods of repairing. Due to the availability of an evidence base for the practical use of geosynthetic materials, it is necessary to centralize the production of blanks and supply them to operating organizations (geotextile bags, mats, membranes, gratings) for prompt use and elimination of emergency situations.

Keywords: reclamation canal, slope reinforcement, bank strengthening, geosynthetic material, coastal protection

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 30, 2025).

For citation: Rybalko D. S. Analysis of domestic experience in realizing coastal protection measures on canals. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;96(2):35–52. (In Russ.).

Введение. Рост численности населения диктует новые, современные правила и тенденции развития сельского хозяйства и мировой продовольственной базы. Около двухсот лет назад население Земли составляло приблизительно 1 млрд человек. Дату «15 ноября 2022 г.» ООН определила как «День восьми миллиардов», и, согласно подсчетам ученых, население Земли может достигнуть 10 млрд уже к 2050 г.¹

В течение XX столетия площадь мелиорируемых земель увеличилась более чем в 5 раз. К началу XXI в. практически все площади земель сель-

¹ООН. Народонаселение [Электронный ресурс]. URL: <https://un.org/ru/global-issues/population> (дата обращения: 15.02.2025).

скохозяйственного назначения были освоены, а необходимость получать большее количество продовольствия вынуждает находить способы более продуктивного производства. В СССР с 1966 г. уделялось особое внимание развитию мелиорации. С 1967 по 1985 г. площади орошаемых и осушенных земель достигли максимального развития. В 1971 г. площадь орошаемых земель составляла 11,1 млн га, осушаемых – 10,2 млн га, а к 1985 г. они выросли до 19,7 и 14,6 млн га соответственно. К 1990 г. площадь мелиорированных земель в стране составляла 9,9 % от общей площади пашни. После распада СССР работы, связанные с мелиорацией, были заморожены. С этих пор показатели стали резко идти вниз (рисунок 1)².

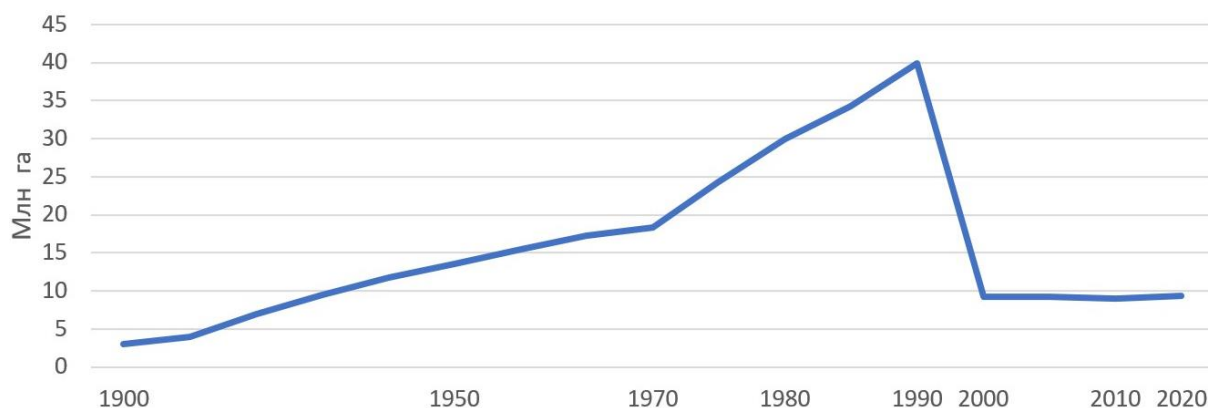


Рисунок 1 – График изменения площади мелиорируемых земель на территории СССР и в Российской Федерации

Figure 1 – Graph of changes in the reclaimed lands area on the territory of the USSR and in the Russian Federation

Согласно Государственным докладам «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», площадь мелиорируемых сельскохозяйственных земель в России в 2006 г. составляла 9,2 млн га, из них орошаемых – 4,4 млн га, осушаемых – 4,8 млн га. К 2023 г. значительных изменений не произошло и общая площадь составила 9,3 млн га. Стоит учитывать, что за этот период многие земли не только не выпали из оборота, но и появилась динамика положительного роста. По оценкам экс-

²Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/108101/Мелиорация> (дата обращения: 15.02.2025).

пертов, доля мелиорированных угодий в России не превышает 5–8 %, в то время как в США, Германии и Китае эта цифра составляет от 35 до 80 %. Кроме того, состояние мелиоративного фонда в ограниченно работоспособном (удовлетворительном) и аварийном (неудовлетворительном) состоянии последнее десятилетие составляет около 65 %³.

Учитывая постоянный прирост населения и ограниченные запасы сельскохозяйственных земель, необходимо совершенствовать системы мелиорации. Серьезной проблемой является физический износ оросительных систем, особенно на территории бывшего СССР: срок их эксплуатации без проведения капитального ремонта и реконструкций в основном превышает 50 лет.

Другой немаловажной проблемой является нерациональное использование в сельском хозяйстве пресной воды. Страны, преуспевшие в разработке системы мелиорации, теперь ищут выход из ситуации дефицита пресной воды и засоления почв. В последние десятилетия в развитых странах мира это один из приоритетных вопросов в сельском хозяйстве. Большое внимание выделяется проблеме фильтрации, повторному использованию сточных, рассолению соленых вод, переводу фермеров на системы дождевания и капельного орошения, а также точному водоучету.

Цель настоящего исследования – анализ отечественного опыта проведения берегозащитных мероприятий на мелиоративных каналах.

Обсуждение. В современной России благодаря Государственным программам «Развитие сельского хозяйства» (2013–2020 гг.) и «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» (2021–2031 гг.) уже достигнуты значительные успехи в возрождении мелиорации. Прово-

³Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru> (дата обращения: 15.02.2025).

дятся капитальные ремонты и реставрация отдельных магистральных и межхозяйственных каналов, замена насосного и арматурного оборудования. Многие сельскохозяйственные орошаемые земли не только остаются в обороте, но и добавляются новые.

К сожалению, невозможно в быстрые сроки восстановить проектное состояние каналов или провести реконструкцию. Одна из задач – поддержание оставшихся в эксплуатации оросительных каналов в работоспособном состоянии. При осмотре и изучении эксплуатации оросительно-обводнительных сетей автор на личном опыте убедился в недостаточно качественном обслуживании мелиоративных систем эксплуатационными организациями как по причине недостаточного количества персонала, так и из-за отсутствия всех необходимых ремонтных материалов и специализированной техники.

Гидравлическими исследованиями, способами и материалами для укрепления откосов и снижения фильтрации оросительных каналов в нашей стране занимались многие ученые: Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. А. Ткачев, А. М. Анохин, Н. В. Ханов и другие. Большая часть исследований посвящена облицовкам каналов, изучению шероховатостей, фильтрационным потерям в различных типах русел.

За последний период (с пика развития мелиорации по настоящее время) крепление откосов канала обрело множество вариантов исполнения. В итоге можно выделить четыре основных, проверенных и зарекомендовавших себя типов крепления русел и откосов канала. Первым нужно отметить способ крепления габионами, которые по форме подразделяются на следующие виды: коробчатые, матрасно-тюфячные, цилиндрические. Этот способ укрепления грунтов и откосов считается хорошо изученным и прошедшим натурное применение. Применение габионных конструкций в трубчатых водопропускных сооружениях было рассмотрено В. И. Алтуниным и О. Н. Черных, подробно изучали укрепления габионами берегов

рек и откосов каналов И. А. Иванов и С. С. Медведев, а конструктивные особенности были рассмотрены в научных работах Б. Ф. Перевозникова и Е. А. Авдеева. За сотни лет изучения и применения габионов список ученых, «приложивших руку», может насчитывать не одну сотню человек. Первые габионы были использованы в качестве военных укрепительных сооружений в XVI веке. К плюсам этого способа относится возможность производства и монтажа в любых температурных условиях, простота и доступность используемых материалов. Также габион обрастает растительностью, что придает ему дополнительную прочность и позволяет вливаться в естественный ландшафт. К минусам можно отнести громоздкость и вес материалов, которые проблематично доставлять к месту строительства, необходимость проведения земляных работ для прочного основания⁴.

На второе место можно отнести материал, который открыл новую эпоху в строительстве – бетон и железобетон, состоящий из заполнителей и вяжущих глин или грунтов. Современный, более прочный и водостойкий бетон появился при открытии в 1824 г. портландцемента. Это дало возможность создания бетонов и в дальнейшем железобетонов. Даже спустя две сотни лет после применения первых бетонов трудно переоценить их достоинства, а именно: высокую механическую прочность, долговечность, возможность доставки и монтажа как готовыми элементами, так и производства их на строительной площадке. Небольшими минусами являются высокая трудоемкость и стоимость (относительно более простых конструкций), а также необходимость соблюдения температуры технологического производства, что проблематично в холодное время года. Над преодолением этих недостатков работают современные ученые и уже предлагают пути решения [1]. Конструктивные решения по созданию защитных

⁴СТО НОСТРОЙ 2.33.22-2011. Мелиоративные системы и сооружения. Габионные противоэрозионные сооружения. Общие требования по проектированию и строительству. Введ. 2011-12-30. М.: Изд-во «БСТ», 2012. 61 с.

покрытий и устройств детально изложены в работах Ю. М. Косиченко, Ф. К. Абдразакова, В. Л. Бондаренко, В. Ф. Сильченко.

Третье место стоит отдать шпунтовым и свайным конструкциям, применение которых актуально на судоходных каналах и в портах, где необходимо сохранение вертикального откоса. Плюсами использования является высокая прочность, долговечность, сохранение вертикального откоса как на подводной, так и на наземной части. Такой способ не может не вызывать высокую стоимость возведения и применения специального, зачастую крупногабаритного оборудования. Наиболее распространены погружные берегоукрепительные мероприятия с помощью шпунта Ларсена. Шпунт Ларсена – вид металлического профиля, представляющий собой трапецевидный желоб с закругленными краями боковых стенок (пазами), которые соединяются между собой в замке во время монтажа. Более чем за столетие были предложены различные модификации замков и сечений профиля, но общий принцип оставался прежним. Большим шагом стало изготовление шпунтов из композитных материалов, которые, в отличие от металла, не подвержены коррозии и не теряют своих физических свойств длительное время. Масса таких шпунтов в 5–6 раз меньше аналогов из стали, что дополнительно упрощает технологию монтажа [2, 3].

Последним в списке отметим тип крепления с помощью синтетических материалов, а именно: геотекстилей, геомембран и георешеток. Каждый из этих материалов имеет особые характеристики и области применения. Они могут исключать фильтрацию, укреплять структуру грунта и защищать его от небольшого волнового воздействия. Этот материал прост и быстр в монтаже, компактен и легок для транспортировки, имеет сравнительно невысокую стоимость. Часто практикуется комбинированное применение для объединения этих полезных свойств. Его недостатками можно считать низкую прочность на разрыв и прокол: он может быть поврежден идущим по течению льдом, крупным мусором и ковшом экскаватора

при проведении очистных работ. Согласно проведенным экспериментам и уже существующему опыту, геотекстильные материалы надежнее работают в сочетании с дополнительным, более жестким и ударопрочным покрытием, таким, как бетон или каменная наброска. По мнению многих ученых и инженеров, сочетание геотекстилей с бетонным покрытием в гидротехническом строительстве – одно из лучших решений современности. Ввиду того, что геосинтетические материалы относительно новый тип строительных материалов, они продолжают активно развиваться, получая более высокие характеристики, и, соответственно, расширяется сфера их применения [4].

С 90-х гг. прошлого века научная деятельность в нашей стране претерпевала упадок, не было заметных изменений и в области разработок и изучения геотекстильных материалов. С 2013 г. российские ученые вновь стали принимать участие в совершенствовании характеристик материала, практическом применении на объектах строительства, а также в создании нормативно-правовой базы по использованию геосинтетических материалов.

К сожалению, применение геосинтетических материалов не всегда приносит желаемый результат, т. к. наиболее частой причиной дефектов конструкций является недобросовестное отношение строителей к материалам и проводимым с ними работам. По мнению автора, сложился стереотип, что геосинтетические материалы в гидротехническом строительстве несут вспомогательную функцию, поэтому строители уделяют недостаточно внимания к технологическим картам работ. Ошибками являются разрывы холстов, несоблюдение технологии стыковки швов, некачественная подготовка оснований, отсутствует должное крепление к основанию, не соответствует норме толщина защитного слоя и материал, из которого он сформирован. Вследствие этого возникают усадки, оползни откосов, промоины, кротовины, вплоть до полного разрушения дамб [5]. Во избежание подобных явлений при работе с геотехническими материалами

необходимо более детальное соблюдение технологических карт и требований свода правил.

Что касается проведения текущих ремонтов эксплуатируемых гидротехнических сооружений, в частности, мелиоративных каналов и их составляющих, то этому уделялось незначительное внимание со стороны ученых и инженеров. В работах А. Ю. Гарбуз были представлены способы ремонта бетонных облицовок каналов. Предложенные способы были проверены на практике и доказали право на существование. Нельзя не обратить внимание на некоторые минусы многокомпонентного способа ремонта бетонных облицовок [6, 7]. Кроме большой трудоемкости и многоуровневого алгоритма ремонта, эксплуатирующие организации не имеют необходимого перечня оборудования и квалифицированных строительных кадров, поэтому скорее всего продолжают использовать простейшие традиционные способы с помощью замоналичивания бетонной смесью.

Одной из основных проблем каналов в земляном русле является разрушение (изменение) поперечного профиля и меандрирование русла, а вследствие увеличения наносов, и значительное снижение пропускной способности [8]. Для подачи того же необходимого объема эксплуатирующая организация повышает уровень воды, тем самым подвергая риску размыва дамбы и, как следствие, затопление полей и поселков (рисунок 2). Для исключения таких ситуаций нужно вовремя проводить очистку русла каналов и устранить рост меандрирования русла.

Для поддержания стабильного состояния грунтовых откосов чаще всего предлагается устройство дернового покрова, но этот способ может быть эффективным при новом строительстве или после проведения капитального ремонта. Также он не защищает откосы ниже уровня воды и разрушается при волновом воздействии. Позднее в практику вошло использование органических геотекстилей и матов с семенами трав. Фактически каналы в земляном русле далеки от проектного трапецевидного сечения

без постоянного вмешательства руслообразующей специализированной техники и уже после нескольких лет эксплуатации размываются. Схемы качественного ремонта откосов и дамб в местах систематических разрушений каналов до сих пор не отработаны.



a – обрушение эксплуатационной дороги; *b* – процесс размыва русла доходит до внутрихозяйственного канала

a – operating road collapse; *b* – the erosion process of the riverbed reaches the interfarm channel

Рисунок 2 – Примеры разрушений откосов и русел мелиоративных каналов (автор фото Д. С. Рыбалко)

Figure 2 – Examples of slope and bed failures of reclamation canals (photo by D. S. Rybalko)

Одним из звеньев рационального отношения к воде является своевременный ремонт элементов оросительных систем. Ремонт дамб и откосов каналов в земляном русле, возможно, кажется простым и имеет крайне сжатое количество вариантов, тем не менее это постоянная проблема, на решении которой нужно остановиться детальнее. К каждому случаю необходимо подходить индивидуально, однако должен быть подготовлен и универсальный алгоритм со стандартным набором материалов. Исследуя проблему, автор выделил два направления: разрушение русла при меандрировании и разрушение дамб с образованием кротовин в каналах, выполненных в полувыемках-полунасыпях при повышении уровня воды.

Автором рассмотрены основные известные варианты берегоукреплений, применимые для разрушаемых участков русел на эксплуатируемых

каналах. Для укрепления разрушаемых откосов могут быть применены любые методы, применяемые при новом строительстве. Учитывая экономическую целесообразность, зачастую допустимо применение простейших способов берегоукрепления, поэтому вышеуказанные основные типы массивных конструкций не рассматриваются.

Каменная наброска и мощение [9] предположительно один из первых используемых способов, который обычно ассоциируется с простейшим берегоукреплением. Он является простым и эффективным при небольших скоростях течения, но не исключает фильтрации и подмыва основания волновым воздействием. При наличии крупной фракции в качестве местного материала совместно с использованием подложек из геосинтетической продукции этот способ может занять лидирующее место в нашем списке (рисунок 3).



Рисунок 3 – Крепление откосов наброской (автор фото Д. С. Рыбалко)
Figure 3 – Slope strengthening with filling (photo by D. S. Rybalko)

Гибкое бетонное покрытие (ГБП) – это сборная железобетонная конструкция, состоящая из отдельных блоков, соединенных между собой металлическим тросом, цепью или иным подвижным способом. ГБП может иметь отличающиеся формы, размеры и тип замка, но общий принцип остается единым. Преимуществами ГБП является возможность принимать

плавные очертания откосов, что предотвращает разрушение от пучения грунта, высокое сопротивление сдвигу, что исключает смещение ото льда и волнового воздействия [10]. Несмотря на простоту монтажа, для выполнения работ требуются услуги специализированной техники. Большой вес и необходимость производства на заводах железобетонных изделий усложняет использование этих материалов (рисунок 4).

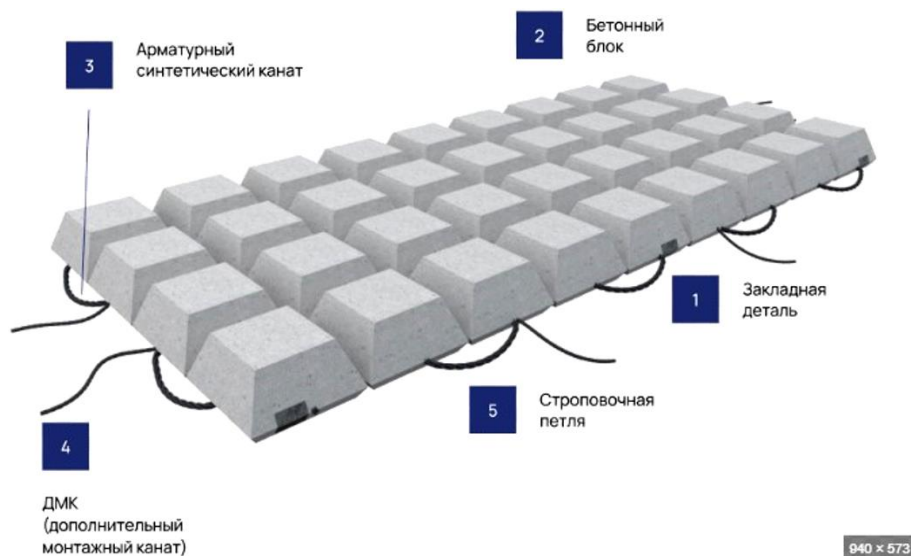


Рисунок 4 – Гибкое бетонное покрытие (источник фото электронный ресурс Википедия: Гибкое бетонное покрытие)

Figure 4 – Flexible concrete coating (photo source Wikipedia electronic resource: Flexible concrete coating)

Также стоит отметить, что сами ГБМ не исключают фильтрацию и вымыв грунта волновым воздействием из-под материала [11].

Вид и технология укладки бетонных матов аналогичны вышеупомянутым. Бетонные маты [12] напоминают ячеистые матрасы из геосинтетических материалов, которые заполняются бетоном. В итоге получают массивную прочную гидроизоляционную конструкцию, которая при заполнении бетоном принимает форму откоса и продолжает впоследствии ее сохранять. Оболочка выполняет одновременно роль опалубки для монолитного бетона и является гидроизоляционным покрытием. Пока в нашей стране этот метод не вошел в широкое применение ввиду малого опыта практического использования (рисунок 5).



Рисунок 5 – Укладка бетонных матов (источник фото <https://www.td-meaplast.ru/production/geosintetik/geobolochki/betonnii-mati-meablok-t/>)

Figure 5 – Concrete mats laying (photo source <https://www.td-meaplast.ru/production/geosintetik/geobolochki/betonnii-mati-meablok-t/>)

Отметим также специальные конструкции берегозащитных сооружений (тетрапод, гексабит и другие), которые чаще применяются на берегах больших рек, морей и океанов для предотвращения волнового воздействия, но их применение редко практикуется на мелиоративных каналах [13].

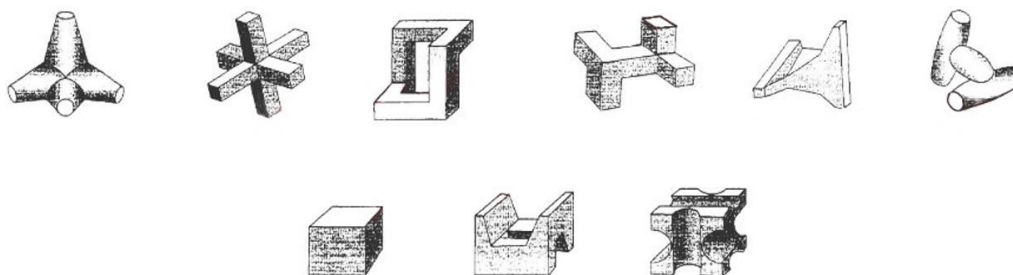


Рисунок 6 – Конструкции берегозащитных сооружений [13]

Figure 6 – Designs of coastal protection structures [13]

Их преимущества и недостатки сравнимы с ГБП. Сцепление между собой и основанием происходит преимущественно гравитационно и с помощью ребер фигур.

Следует отметить еще один способ устранения дефекта откосов с помощью шпор и струенаправляющих дамб. Так сложилось, что упоминание о них имеется в тематике регулирования руслообразующих процессов. Действительно, строительство шпор и струенаправляющих дамб произво-

дится на крупных и средних реках для спрямления русла и исключения подтопления селибельных (реже сельскохозяйственных) зон. Как ранее упоминалось, мелиоративные каналы в земляном русле, спустя десятки лет очень напоминают малые реки. Обследуя работающие каналы, автор не раз наблюдал применение шпор фермерами или эксплуатирующими организациями в качестве меры остановки эрозии берега. Шпоры чаще всего выполнялись из местных древесных материалов. Поток воды в этих местах замедлялся, и в некоторых случаях было заметно накопление наносов в ранее размытых частях канала.

Выводы. Для качественного поддержания мелиоративных систем в работоспособном состоянии необходимо в масштабах каждого региона разработать и утвердить типовые способы ремонта гидротехнических сооружений и технологические карты ремонтных работ. Состав материалов должен быть доступным в конкретном регионе, согласно разработанным типовым способам ремонта. Ввиду наличия доказательной базы практического применения геосинтетического материала необходимо централизованное производство заготовок (с постоянным запасом) и снабжение ими эксплуатирующих организаций (геотекстильные мешки, маты, мембраны, решетки) для оперативного применения и исключения аварийных ситуаций.

Эксплуатирующая организация перед поливным сезоном должна иметь запас материалов для срочного ремонта, в первую очередь, дамб и разрушаемых откосов, во вторую – регулирующих шлюзов. Запас материалов должен быть в наличии на складах эксплуатирующих организаций для оперативного использования. Применение традиционных способов укрепления бетонными плитами, шпунтами нереальны, так как для их использования нужна специальная техника, обеспеченность заводов железобетонных изделий необходимыми заготовками.

Автор предлагает организовать производство и поставку специальных ремонтных комплектов из геомембраны и геотекстиля для эксплуати-

рующих организаций. В нынешней практике в случаях размыва дамб и образования кротовин эксплуатирующие организации применяют мешки из полипропилена, но этот материал очень быстро разрушается под действием ультрафиолета, загрязняя окружающую среду и подвергая дамбу новому размыву. Достаточно всего два типа заготовок для проведения более качественных ремонтных работ. Если в подобном случае применять аналогичные мешки из геотекстиля, то срок службы восстановленной части сооружения составит десятки лет. В случаях размыва откосов без прямого выхода воды за пределы канала (образовании меандр) достаточно применить матрасы из геотекстиля, заполняя их местным грунтом с соединением внахлест по направлению течения, что позволит силами эксплуатирующей организации выполнить срочный долговременный ремонт без полного прекращения подачи воды даже во время поливного сезона. Такой вид ремонта поможет остановить разрушение берегов и дальнейшее развитие меандрирования русла на участке. Во время межсезонного обслуживания сооружений сверху восстановленных участков необходимо установить георешетку (высота ячеек выбирается согласно скорости течения потока) с засыпкой ячеек защитным слоем местного грунта.

Список источников

1. Васильева Е. В., Федоров В. М., Чибинев Н. Н. Одежда каналов мелиоративных систем из бетона на местных заполнителях с построением математической модели // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3(67). С. 513–525. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-58. EDN: ZMPKNY.
2. Чернов А. А. Оптимизация проектов ГТС с помощью шпунта Ларсена ЕСО // Гидротехника. 2024. № 1(74). С. 60–61. EDN: ACYJPH.
3. Шипелев И. Л., Захарова Я. Ю., Кандыбко Я. И. Обоснование использования шпунта Ларсена из ПВХ взамен металлического аналога // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2019. № 1–1. С. 191–194. EDN: QBJBME.
4. Щербина Е. В. Геосинтетические материалы в строительстве. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2004. 111 с. ISBN 5-93093-336-7. EDN: QNKVER.
5. Проблемы применения геосинтетических материалов (геомембран) в конструкции противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений / С. В. Сольский, М. Г. Лопатина, С. А. Быковская, В. А. Клушенцев // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2020. Т. 296. С. 22–43. EDN: JTTBJP.

6. Баев О. А., Косиченко Ю. М. Разработка технологических решений и апробация методов ремонта бетонных облицовок в натурных условиях // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 1(81). С. 5–12. EDN: NBSGXB.

7. Абдразаков Ф. К., Сафин Э. Э. Перспективные подходы к ремонту и усовершенствованию облицовки оросительных каналов с применением композитов // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы XIV Нац. конф. с междунар. участием, г. Саратов, 25–26 апр. 2024 г. Саратов: Сарат. гос. ун-т генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, 2024. С. 271–275. EDN: PPJOOM.

8. Баев О. А., Сильченко В. Ф. Анализ типовых проектов каналов оросительных систем с бетонной и железобетонной облицовкой русла // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 1(77). С. 127–132. EDN: PRIYXZ.

9. Левкевич В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси. Минск: БНТУ, 2019. 172 с. EDN: IJOGQO.

10. Ардаков А. А. Гибкие бетонные плиты ПБЗГУ как фактор надежной защиты в строительстве // Гидротехника. 2024. № 2(75). С. 59–61. EDN: TNCICZ.

11. Бураева К. Г. Буравлев А. Н., Гурова Т. В. Современные конструкции защиты грунтовых откосов инженерных сооружений от размыва // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. № 2(7). С. 51–58. EDN: WDJRKC.

12. Михасек А. А., Родионов М. В., Литвинова М. Г. Влияние текстильных синтетических полотен на несущую способность бетононаполняемых текстильных матов // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 3(28). С. 57–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.10. EDN: ZXOLPV.

13. Гексабиты в гидротехническом строительстве / Г. В. Тлявлиная, Р. М. Тлявлин, Р. Ю. Горгуца, Д. В. Крекнин // Гидротехника. 2022. № 1(66). С. 70–73. DOI: 10.55326/22278400_2022_1_66_70. EDN: EVOXTO.

References

1. Vasilyeva E.V., Fedorov V.M., Chibinev N.N., 2022. *Odezhda kanalov meliorativnykh sistem iz betona na mestnykh zapolnitelyakh s postroyeniem matematicheskoy modeli* [Lining of channels of reclamation systems made of concrete on local aggregates with the construction of mathematical model]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(67), pp. 513-525, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-58, EDN: ZMPKNY. (In Russian).

2. Chernov A.A., 2024. *Optimizatsiya projektov GTS s pomoshch'yu shpunta Larsena ECO* [Optimization of hydraulic engineering structures projects using Larssen sheet piles]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 1(74), pp. 60-61, EDN: ACYJPH. (In Russian).

3. Shipelev I.L., Zakharova Ya.Yu., Kandybko Ya.I., 2019. *Obosnovanie ispol'zovaniya shpunta Larsena iz PVKH vzamen metallicheskogo analoga* [Justification for the use of sheet piles made of PVC instead of metal analog]. *Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa* [Far East: Problems of Development of the Architectural and Civil Engineering Complex], no. 1-1, pp. 191-194, EDN: QBJBME. (In Russian).

4. Shcherbina E.V., 2004. *Geosinteticheskie materialy v stroitel'stve* [Geosynthetic Materials in Construction]. Moscow, Assoc. Civil Engineering Universities Publ., 111 p., ISBN 5-93093-336-7, EDN: QNKVEP. (In Russian).

5. Solsky S.V., Lopatina M.G., Bykovskaya S.A., Klushentsev V.A., 2020. *Problemy primeneniya geosinteticheskikh materialov (geomembran) v konstruktsii protivofil'tratsionnykh elementov gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Issues of geosynthetic materials (geomembranes) application in structure of hydraulic structures watertight elements]. *Izvestiya Vserossiyskogo*

nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. Ye. Vedeneeva [Proceed. of the VNIIG after B.E. Vedeneyev], vol. 296, pp. 22–43, EDN: JTTBJP. (In Russian).

6. Baev O.A., Kosichenko Yu.M., 2021. *Razrabotka tekhnologicheskikh resheniy i aprobatsiya metodov remonta betonnykh oblitsovok v prirodnnykh usloviyakh* [Development of technological solutions and testing of methods for repairing concrete linings in natural conditions]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(81), pp. 5–12, EDN: NBSGXB. (In Russian).

7. Abdrazakov F.K., Safin E.E., 2024. *Perspektivnye podkhody k remontu i usovershenstvovaniyu oblitsovki orositel'nykh kanalov s primeneniem kompozitov* [Promising approaches to repairing and improving the lining of irrigation canals using composites]. *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya: materialy XIV Natsional'noy konf. s mezhdunar. uchastiem* [Modern Problems and Prospects for the Development of Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply: Proceed. of the XIV National Conference with International Participation]. Saratov, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, pp. 271–275, EDN: PPJOOM. (In Russian).

8. Baev O.A., Silchenko V.F., 2020. *Analiz tipovykh proektov kanalov orositel'nykh sistem s betonnoy i zhelezobetonnoy oblitsovkoj rusla* [Analysis of standard designs of irrigation system canals with concrete and reinforced concrete channel lining]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(77), pp. 127–132, EDN: PRIYXZ. (In Russian).

9. Levkevich V.E., 2019. *Kreplenie beregov i verkhovykh otkosov podpornykh sooruzheniy gidrouzlov Belarusi* [Protecting the Banks and Upper Slopes of Retaining Structures at Waterworks in Belarus]. Minsk, BNTU, 172 p., EDN: IJOGQO. (In Russian).

10. Ardakov A.A., 2024. *Gibkie betonnye plity PBZGU kak faktor nadezhnoy zashchity v stroitel'stve* [Flexible concrete slabs of PBZGU as a factor of reliable protection in construction]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 2(75), pp. 59–61, EDN: TNCICZ. (In Russian).

11. Buraeva K.G., Buravlev A.N., Gurova T.V., 2017. *Sovremennyye konstruksii zashchity gruntovykh otkosov inzhenernykh sooruzheniy ot razmyva* [Modern structures for protecting soil slopes of engineering structures from erosion]. *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikatsii* [Urban Development. Infrastructure. Communications], no. 2(7), pp. 51–58, EDN: WDJRKC. (In Russian).

12. Mikhasek A.A., Rodionov M.V., Litvinova M.G., 2017. *Vliyanie tekstil'nykh sinteticheskikh poloten na nesushchuyu sposobnost' betononapolnyaemykh tekstil'nykh matov* [Influence of textile synthetic fabrics on the bearing capacity of concrete-filled textile mats]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Development and Architecture], vol. 7, no. 3(28), pp. 57–62, DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.10, EDN: ZXOLPV. (In Russian).

13. Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Gorgutsa R.Yu., Kreknin D.V., 2022. *Geksabity v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Hexabites in hydraulic engineering]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 1(66), pp. 70–73, DOI: 10.55326/22278400_2022_1_66_70, EDN: EVOXTO. (In Russian).

Информация об авторе

Д. С. Рыбалко – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, 1ruba4eks@yandex.ru.

Information about the author

D. S. Rybalko – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, 1ruba4eks@yandex.ru.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 96, № 2. С. 35–52.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 96, no. 2. P. 35–52.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 28.04.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025;
принята к публикации 03.07.2025.
The article was submitted 28.04.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for
publication 03.07.2025.*