

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-52-57>

УДК 631.623:626.861



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

М.А. Карапетян<sup>✉</sup>, С.К. Тойгамбаев, Х.А. Абдулмажидов

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

**Аннотация.** Цель экспериментальных исследований – моделирование откосов мелиоративных осушительных каналов под нагрузкой со стороны обслуживающих машин через гусеничное или пневмоколесное ходовые устройства для оценки устойчивости при разных углах заложения. В статье представлены результаты экспериментальных исследований устойчивости откосов мелиоративных каналов. Экспериментальные исследования проведены на Большом канале лаборатории дождевальных машин и гидропривода кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова. Работа мелиоративной осушительной системы сопровождается появлением наносов, заиления травянистой и кустарниковой растительности на дне и откосах канала. Для нормального функционирования мелиоративной осушительной системы необходимо поддерживать проектные размеры каналов в течение всего срока их эксплуатации. Для очистки осушительных каналов применяются специальные каналоочистительные машины периодического или непрерывного действия на гусеничном или пневмоколесном ходу, часто используются также общестроительные экскаваторы с уширенными ковшами. Работа всех перечисленных машин с большой эксплуатационной массой характеризуется особенностью, которая заключается в их передвижении в процессе очистки вдоль канала по участкам бермы, близким к бровке. Такая ситуация может приводить к нарушению устойчивости откосов, что в свою очередь нарушает пропускную способность русла канала и его проектные геометрические размеры. Исследования нарушений устойчивости откосов от нагрузок каналоочистительных машин позволяют правильно проектировать сечение канала и формировать технологию очистки.

**Ключевые слова:** устойчивость откосов, коэффициент заложения откосов, берма и бровка канала, распределенная нагрузка на берму, влажность грунтов, категория грунтов, пропускная способность канала, норма осушения, коэффициент запаса устойчивости откосов

**Формат цитирования:** Карапетян М.А., Тойгамбаев С.К., Абдулмажидов Х.А. Экспериментальные исследования устойчивости откосов мелиоративных осушительных каналов // Природообустройство. 2024. № 4. С. 52-57. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-52-57>

Original article

## EXPERIMENTAL STUDIES OF SLOPE STABILITY OF RECLAMATION DRAINAGE CHANNELS

М.А. Karapetyan<sup>✉</sup>, S.K. Toygambayev, Kh.A. Abdulmazhidov

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Pryanishnikova, 19, bldg. 28. Russia

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the stability of slopes of reclamation channels. Experimental studies were carried out on the Grand Channel of the Laboratory of Sprinkler Machines and Hydraulic Drive of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Reclamation and Construction Works of the Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov. The work of the reclamation drainage system is accompanied by the appearance of sediments, siltation of herbaceous and shrubby vegetation at the bottom and slopes of the channel. For the normal functioning of the reclamation drainage system, it is necessary to maintain the design dimensions of the channels during the entire period of their operation. To clean drainage channels, special channel cleaning machines of periodic or continuous action on caterpillar or pneumatic wheels are used, and general construction excavators with widened buckets are also often used. The operation of all these machines with a large operating weight has

a peculiarity, which consists in their movement in the process of cleaning along the channel along the berm sections close to the edge. Such a situation can lead to a violation of the stability of the slopes, which in turn disrupts the capacity of the channel bed and its design geometric dimensions. The study of slope instability from the loads of channel cleaning machines allows you to correctly design the channel section and form a cleaning technology.

**Keywords:** slope stability, slope formation coefficient, berm and channel edge, distributed load on the berm, soil moisture, soil category, channel capacity, drainage rate, slope stability factor

**Format of citation:** Karapetyan M.A., Toygambayev S.K., Abdulmashidov Kh.A. Experimental studies of slope stability of reclamation drainage channels // Prirodoobustrojstvo, 2024. № 4. P. 52-57. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-52-57>

**Введение.** Обеспечение устойчивости откосов мелиоративных осушительных каналов в процессе их эксплуатации является сложной задачей. Наряду с очисткой дна и прилегающих ко дну частей откосов от наносов, заилений, травянистой и кустарниковой растительности соблюдение устойчивости откосов – это наиболее распространенная составляющая полноценного функционирования элементов осушительной сети [1-4]. Проведение очистных работ на каналах с соблюдением устойчивости откосов связано с восстановлением проектных размеров каналов. Все машины, входящие в комплексы по обслуживанию, очистке и восстановлению русел каналов, обычно перемещаются по берме параллельно оси канала, создавая при этом условия для нарушения устойчивости откоса. Каналоочистители, используемые при этом по режиму работы, относятся к машинам непрерывного или периодического действия. Машины циклического действия обычно работают позиционно, создавая при этом большие статические нагрузки на бровке канала [5-8]. Если используется машина на гусеничном ходу, по всей ее длине по центрам крайних опорных катков возникает распределенная нагрузка [9, 10]. При колесной базе машины нагрузки на бровке имеют нагрузки по пятну контакта с поверхностью грунта [11, 12].

**Цель исследований:** моделирование откосов мелиоративных осушительных каналов под нагрузкой со стороны обслуживающих машин через гусеничное или пневмоколесное ходовые устройства для оценки устойчивости при разных углах заложения.

**Материалы и методы исследований.** Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на Большом грунтовом канале на специально сформированном профиле канала (рис. 1) по правилам приближенного физического моделирования В.И. Баловнева [13, 14].

Для моделирования процесса нагружения кромки бермы через уширенную гусеницу базового трактора ВТГ-90 каналоочистителя принято

решение использовать швеллер № 14 с распределением нагрузок на полке, а для узких гусениц – с распределением нагрузок по ребру. Масштабный коэффициент в первом случае составляет 4,78, во втором случае – 6,5.

Задачи исследования:

1. Определить устойчивость откосов канала при их заложении в  $54^\circ$ , при наличии распределенных нагрузок по полке и ребру швеллера № 14 длиной 2,8 м на кромке бермы.

2. Определить устойчивость откоса канала при его заложении в  $75^\circ$  при наличии распределенных нагрузок по ребру швеллера № 14 длиной 2,8 м на кромке бермы.

3. Определить устойчивость откоса канала – вертикальная стенка ( $90^\circ$ ) при наличии распределенных нагрузок по полке швеллера № 14 длиной 2,8 м на кромке бермы.

В грунте Большого канала был сформирован трапецеидальный профиль осушительного канала длиной 3,0 м.

Согласно правилам приближенного физического моделирования линейные параметры модели при исследованиях задавались с учетом масштабного коэффициента. Угловые параметры принимались равными для природы и модели [15, 16]. Переход от силовых параметров модели к параметрам оригинала (природы) при приближенном моделировании рабочих процессов осуществлялся по формуле:

$$P_n = P_m i^n, \quad (1)$$

где  $P_m$  – усилия для модели, Н;  $P_n$  – усилия для природы, Н;  $i$  – масштабный коэффициент;  $n$  – показатель степени, зависящий от характера подобия объектов, определяемый экспериментально ( $n = 2$  при мерзлых грунтах,  $n = 3$  при талых грунтах).

Грунт исследуемого канала представлял собой суглинок с примесью песка и каменистых включений. Перед формированием профиля канала осуществляли увлажнение, разрыхление и уплотнение грунта. Влажность грунта составляла 18% при I-II категориях плотности по трудности разработки.

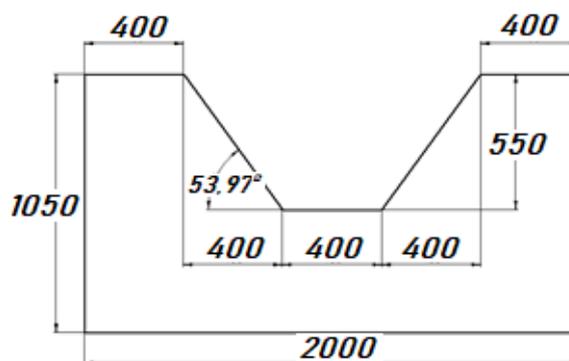


Рис. 1. Общий вид и размеры канала в поперечном сечении  
Fig. 1. General view and dimensions of the channel in cross-section

План проведения работ включал в себя следующие условия исследований:

1. Определение устойчивости нагруженного левого откоса с заложением  $54^\circ$ .
2. Определение устойчивости нагруженного правого откоса с заложением  $75^\circ$ .
3. Определение устойчивости нагруженного левого откоса с заложением  $90^\circ$ .

Приближенное физическое моделирование нагрузок на берме со стороны гусеничного ходового устройства осуществлялось посредством швеллера № 14, ширина полки которого соответствует ширине гусеницы базового трактора с учетом масштабного коэффициента.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенные опыты показали, что для первого случая с заложением откосов  $54^\circ$  коэффициент запаса устойчивости при соизмеримых нагрузках на модель оказался достаточным. Для второго случая при заложении откоса  $75^\circ$  в целом устойчивость соблюдается, но определены признаки его разрушения под данной нагрузкой. В третьем случае при угле заложения  $90^\circ$  откос с нагрузкой по полке швеллера на кромке бермы был полностью разрушен. Очевидно, что при данных нагрузках по ребру швеллера меньшей площади контакта с поверхностью кромки откос также будет разрушен.

Исследования показывают, что при расчете коэффициента устойчивости откосов необходимо учитывать не только геометрические размеры, силовые составляющие, но и наличие влаги между слоями грунтов, их категорию и степень влажности:

$$k_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = \left( \sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta l_i \right) / \sum_{i=1}^n T_i, \quad (2)$$

где  $M_{уд}$  – момент от удерживающих сил, кН м;  $M_{сд}$  – момент от сдвигающих сил, кН м;  $Q_i$  – сила трения на поверхности сдвига  $i$ -го отсека, кН;  $l_i$  – длина дуги следа поверхности сдвига  $i$ -го отсека, м;  $c_i$  – удельная сила сцепления на поверхности сдвига  $i$ -го отсека, кПа;  $T_i$  – сдвигающая сила

(касательная составляющая силы веса), кН,  $T_i = G_i \sin \alpha_i$ ;  $G_i$  – вес  $i$ -го отсека;  $\alpha_i$  – угол наклона радиуса поверхности скольжения к вертикальной оси.

В числитель формулы для определения устойчивости откосов целесообразно вводить полученный по результатам исследований поправочный коэффициент  $k_{п}$ . В итоге формула (2) примет вид:

$$k_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = \left( \sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta l_i \right) \cdot k_{п} / \sum_{i=1}^n T_i, \quad (3)$$

где  $k_{п}$  – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия состояния откоса с учетом влажности;

$$k_{п} = W \cdot k_{гп} \cdot k_{\alpha} \cdot f_r, \quad (4)$$

где  $W$  – влажность грунта;  $k_{гп}$  – коэффициент, зависящий от характеристики грунта, для связных грунтов  $k_{гп} = 0,8 \dots 0,9$ , для несвязных –  $k_{гп} = 1,2 \dots 1,3$ ;  $f_r$  – коэффициент трения грунта о грунт,  $f_r = 0,5 \dots 1,0$ ;  $k_{\alpha}$  – коэффициент эксплуатации.

Значения коэффициента эксплуатации определяются по эмпирической формуле:

$$k_{\alpha} = k_{вл} \cdot k_{пл} \cdot k_{кат}, \quad (5)$$

где  $k_{вл}$  – коэффициент, учитывающий наличие влаги между слоями грунта,  $k_{вл} = 0,7 \dots 1,0$ ;  $k_{пл}$  – коэффициент, учитывающий плотность грунта  $k_{пл} = 0,7 \dots 1,0$ ;  $k_{кат}$  – коэффициент, учитывающий категорию грунта,  $k_{кат} = 0,7$  для I категории;  $0,8$  – II;  $0,9$  – III;  $1,0$  – IV.

Распределение слоев грунтов и почвогрунтов является неравномерным и не строго горизонтальным. Результаты экспериментальных исследований по определению устойчивости откосов канала показывают, что данная характеристика в большей степени зависит от вида грунта, его влажности, величины нагрузки и заложения откосов.

Разрушение откосов наблюдалось при проведении опыта, когда основные факторы имели следующие значения: 1) влажность грунта – 18%; 2) категория грунта – I (3-4 удара ударника ДорНИИ); 3) вид грунта – суглинок; 4) вид нагрузки и ее величина, распределенная на полке

швеллера № 14 по кромке бермы левого откоса (вертикальной стенки), доведена до 91,144 кг; 5) состояние вертикального откоса – устойчивость нарушена (рис. 2).

При пересчете критических значений нагрузок, при которых модель откоса разрушается, на откос в натуральную величину получены нагрузки величиной 10500 кг. Такое значение соизмеримо с массой каналоочистителя РР-303, и можно сделать вывод о том, что использование

данной машины в условиях рассматриваемого случая с вертикальным откосом исключается.

Результаты расчетов по данному опыту расчета коэффициента устойчивости левого вертикального откоса с распределенной нагрузкой на полке швеллера № 14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса и анализ призмы сдвига при расчете откоса (величина суммарной силы; угол наклона основания) в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунке 3.

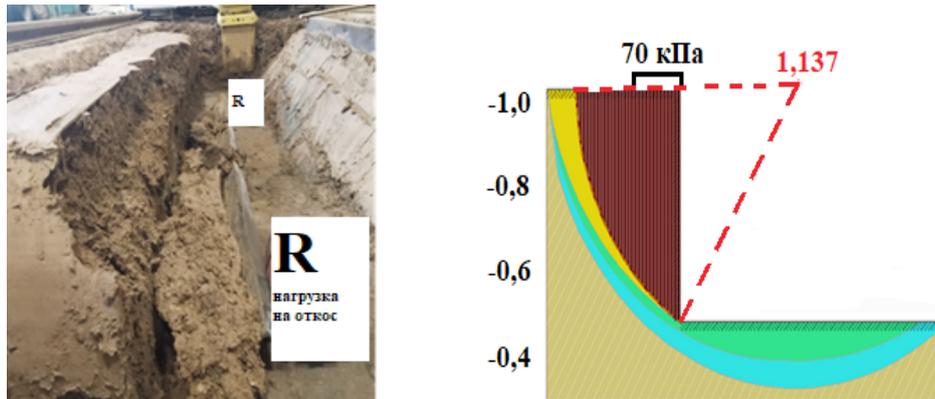


Рис. 2. Величина запаса устойчивости при вертикальном откосе канала с распределенной нагрузкой на берме, недостаточная в данных условиях

Fig. 2. The value of the safety margin at the vertical slope of the channel with a distributed load on the berm is insufficient under these conditions

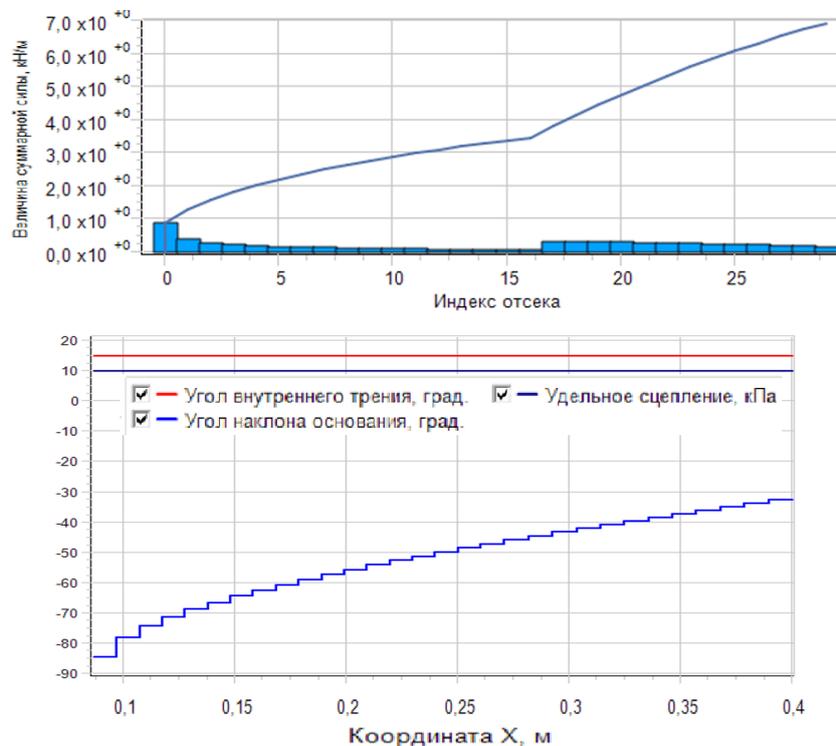


Рис. 3. Расчет коэффициента устойчивости левого вертикального откоса с распределенной нагрузкой на полке швеллера № 14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса и анализ призмы сдвига при расчете откоса (величина суммарной силы; угол наклона основания)

Fig. 3. Calculation of the stability coefficient of the left vertical slope with distributed load on the channel flange No14 in the GeoStab 8.1 system according to the Fillenius method and analysis of the shear prism in the slope calculation (total force value; base inclination angle)

### Выводы

– При нагружении откоса с заложением  $54^\circ$  по полке швеллера до нагрузки величиной 214,744 кг, что составляет  $1322,3 \text{ Н/м}^2$ , – устойчивость откоса соблюдается.

– При идентичных нагрузках на кромке бермы откоса с заложением  $75^\circ$  по ребру швеллера – устойчивость откоса нарушена.

– При нагружении вертикального откоса по полке швеллера, как показано на рисунке 2, до нагрузки величиной 91,144 кг, что составляет  $232,5 \text{ Н/м}^2$ , – устойчивость вертикального откоса нарушена.

### Список использованных источников

1. **Абдулмажидов Х.А.** Характеристики изменения размеров осушительных каналов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2013. № 1 (57). С. 54-57.

2. **Абдулмажидов Х.А.** Обоснование геометрических параметров ковшей каналоочистителя // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2013. № 2 (58). С. 30-33.

3. **Карапетян М.А., Абдулмажидов Х.А.** Теоретическое исследование динамики рабочего органа каналоочистителя РР-303 // Природообустройство. 2015. № 2. С. 78-80.

4. **Свиридович Т.Г.** Подбор травосмесей для укрепления русловой части мелиоративных каналов // Мелиорация. 2023. № 2 (104). С. 35-40.

5. **Тойгамбаев С.К., Шмонин В.А., Теловов Н.К.** Математическая модель теории планирования экспериментов по использованию глубокорыхлителя // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2013. № 1 (57). С. 40-45.

6. **Карнаухов В.Н.** Способы ремонта и реконструкции русел рек-водоприемников и проводящих каналов // Мелиорация. 2006. № 2 (56). С. 37-44.

7. **Кондратьев В.Н., Свиридович Т.Г.** Обобщение результатов экспериментальных исследований укрепления откосов и русловой части каналов армированными травяными коврами // Мелиорация. 2015. № 1 (73). С. 171-188.

8. **Линкевич Н.Н.** Основные мероприятия по повышению надежности и безопасности каналов // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: Материалы II Республиканской научно-технической конференции, Минск, 28-29 апреля 2022 г. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. С. 171-178.

9. **Михневич Э.И.** Расчет пропускной способности и устойчивости каналов // Экология и строительство. 2020. № 1. С. 23-31. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-01-003.

10. **Авраменко Н.М., Карнаухов В.Н., Солтан О.Г.** Технологические схемы проведения ремонтных

Экспериментальные исследования показали, что на устойчивость откоса канала в значительной степени влияют угол заложения откосов, влажность и категория грунта.

Результаты экспериментов подтверждены расчетными данными, полученными в компьютерной программе GeoStab 8.1. Опытное определение устойчивости откосов с учетом поправочного и эксплуатационного коэффициентов подтверждают результаты экспериментальных данных, полученных на Большом грунтовом канале лаборатории кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ.

### References

1. **Abdumazhidov Kh.A.** Characteristics of changes in the size of drainage channels // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2013. № 1(57). P. 54-57.

2. **Abdumazhidov Kh.A.** Substantiation of geometric parameters of canal cleaner buckets // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2013. № 2(58). P. 30-33.

3. **Karapetian M.A., Abdumazhidov Kh.A.** Theoretical study of the dynamics of the working organ of the RR-303 canal cleaner. 2015. № 2. P. 78-80.

4. **Sviridovich T.G.** Selection of grass mixtures for strengthening the channel part of reclamation canals. 2023. № 2(104). P. 35-40.

5. **Toygambaev S.K., Shmonin V.A., Telovov N.K.** Mathematical model of the theory of planning experiments on the use of a deep ripper / S.K. Toygambaev, V.A. Shmonin, N.K. Telovov // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin" 2013. № 1(57). P. 40-45.

6. **Karnaukhov V.N.** Methods of repair and reconstruction of riverbeds of water receivers and conducting canals. 2006. № 2(56). P. 37-44.

7. **Kondratiev V.N., Sviridovich T.G.** Generalization of the results of experimental studies of strengthening slopes and channel part of canals with reinforced grass carpets / V.N. Kondrat'ev, T.G. Sviridovich // 2015. № 1(73). P. 171-188.

8. **Linkevich N.N.** Main measures to improve the reliability and safety of channels // Innovative technologies in water, communal economy and water transport: Materials of the II Republican Scientific and Technical Conference, Minsk, April 28-29, 2022. Minsk: Belarusian National Technical University, 2022. P. 171-178.

9. **Mikhnevich E.I.** Calculation of the throughput capacity and stability of channels. 2020. № 1. P. 23-31. – DOI 10.35688/2413-8452-2020-01-003.

10. **Avramenko N.M., Karnaukhov V.N., Soltan O.G.** Technological schemes for repairing work on an open network / N.M. Avramenko, V.N. Karnaukhov, O.G. Soltan // Land reclamation. 2011. № 1(65). P. 68-75.

11. **Rogunovich V.P., Vael A.I.M., Shkadun A.I.** Improving the effectiveness of the fastening of earth canals

работ на открытой сети // Мелиорация. 2011. № 1 (65). С. 68-75.

11. **Рогуневич В.П., Ваэль А.И.М., Шкадун А.И.** Повышение эффективности крепления земляных каналов // Мелиорация. 2016. № 2 (76). С. 46-51.

12. **Басаревский А.Н., Мажугин И.Е.** Аналитический обзор рабочих органов активного типа планировщика-рыхлителя для откосов мелиоративных каналов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник. Минск: Беларуская навука, 2018. Вып. 51. С. 34-39.

13. **Карлиханов Т.К., Куанышбаев О.Ж., Далдабаева Г.Т.** Современное состояние проблемы устойчивости земляных каналов // Наука и новые технологии. 2013. № 1. С. 33-36.

14. **Фоминых М.С., Юшков Б.С.** Расчет устойчивости высоких насыпей // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2013. Т. 2. С. 487-497.

15. **Можина А.М., Преснов О.М., Стогниева А.В., Утяганова А.И.** Усиленные конструкции из габионов. Область их применения // Перспективы науки. 2022. № 2 (149). С. 30-33.

16. **Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Абрамов Г.А.** Критерий безопасной эксплуатации грунтового откоса гидротехнического сооружения // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, North Charleston, USA, 19-20 декабря 2017 г. Т. 3. North Charleston, USA: CreateSpace, 2017. С. 61-65.

/ V.P. Rogunovich, A. I.M. Vael, A.I. Shkadun // Land reclamation. 2016. № 2(76). P. 46-51.

12. **Basarevsky A.N., Mazhugin I.E.** Analytical review of working bodies of the active type of the planer-ripper for slopes of reclamation canals / A.N. Basarevskiy, I.E. Mazhugin // Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection. Vol. 51. Minsk: Belaruskaya navuka, 2018. P. 34-39.

13. **Karlikhanov T.K., Kuanyshbaev O.Zh., Daldabaeva G.T.** Current state of the problem of the stability of earth channels / T.K. Karlikhanov O.Zh. Kuanyshbaev, G.T. Daldabaeva // Science and new technologies. 2013. № 1. P. 33-36

14. **Fominykh M.S.** Calculation of stability of high embankments / M.S. Fominykh, B.S. Yushkov // Ecology and scientific and technical progress. Urbanism. 2013. V. 2. P. 487-497.

15. **Mozhina A.M.** Reinforced structures from gabions. Area of their application / A.M. Mozhina, O.M. Presnov, A.V. Stognieva, A.I. Utyaganova // Perspektivy nauki. 2022. № 2(149). P. 30-33.

16. **Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Abramov G.A.** Criterion of safe operation of the ground slope of the hydraulic structure / A.N. Bogomolov, O. A., Abramov G.A. Actual directions of fundamental and applied research: Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference, North Charleston, USA, December 19-20, 2017. Volume 3. – North Charleston, USA: CreateSpace, 2017. P. 61-65.

#### Об авторах

**Мартик Аршалуйсович Карапетын**, д-р техн. наук, профессор; WoS ResearcherID: ADQ-5014-2022; Scopus AuthorID: 57222131481; ORCID: 0000-0002-6524-0561; SPIN-код: 3008-0720; AuthorID: 780469; karapetyn@rgau-msha.ru

**Серик Кокибаевич Тойгамбаев**, д-р техн. наук, профессор; WoS ResearcherID: JRY-8643-2023; Scopus AuthorID: 57221221969; ORCID: 0000-0002-7649-6036; SPIN-код: 9931-9900; AuthorID: 753942; kokibaewich@yandex.ru

**Хамзат Арсланбекович Абдулмажидов**, канд. техн. наук, доцент; WoS ResearcherID: AAE-5817-2022; Scopus AuthorID: 57224176106; ORCID: 0000-0002-7699-4799; SPIN-код: 7201-8282; AuthorID: 756348; abdulmajidov@rgau-msha.ru

#### About the authors

**Martik A. Karapetyan**, D. Sc. (Eng.), Professor; WoS ResearcherID: ADQ-5014-2022; Scopus AuthorID: 57222131481; ORCID: 0000-0002-6524-0561; SPIN-code: 3008-0720; AuthorID: 780469; karapetyn@rgau-msha.ru

**Serik K. Toygambaev**, D. Sc. (Eng.), Professor; WoS ResearcherID: JRY-8643-2023; Scopus AuthorID: 57221221969; ORCID: 0000-0002-7649-6036; SPIN-code: 9931-9900; AuthorID: 753942; kokibaewich@yandex.ru

**Khamzat A. Abdulmajidov**, CSc (Eng.), Associate Professor; WoS ResearcherID: AAE-5817-2022; Scopus AuthorID: 57224176106; ORCID: 0000-0002-7699-4799; SPIN-code: 7201-8282; AuthorID: 756348; abdulmajidov@rgau-msha.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Карапетын М.А., Тойгамбаев С.К., Абдулмажидов Х.А. выполнили экспериментальные и 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 / Authors' contributions

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 17.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.06.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.06.2024

Karapetyan M.A., Toygambaev S.K., Abdulmajidov Kh.A. carried out experimental and 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.