

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ

Научная статья
УДК 626.823.91

Сравнение гидравлических характеристик геоматов, заполненных щебнем с вяжущим заполнителем и без него

Татьяна Юрьевна Жукова¹, Андрей Викторович Еремеев²,
Даниил Андреевич Алексеев³

^{1,2,3}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация

¹t.zhukova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3039>

²a.eremeev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5826-0935>

³daniil.alekseev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1890-3471>

Аннотация. Цель: сравнение коэффициентов шероховатости защитных покрытий русла водотока, заполненных щебнем с вяжущим и без него. **Материалы и методы.** Исследование проводилось на экспериментальной установке с трапециевидальным сечением лотка с вертикальным правым ($m = 0$), наклонным левым ($m = 1$) откосами, с переменным уклоном дна $i = 0,001...0,0237$, общей длиной участка с покрытием 8 м. Длина рабочего участка составляла 4,9 м, опыты проведены при изменении расходов на установке от 43 до 166 л/с. Для двух покрытий в пяти мерных створах производились измерения параметров потока. Замеры скоростей выполнялись на 11 вертикалях, равноудаленных друг от друга и от правой стенки лотка. Замеры скоростей производились на каждой вертикали в шести точках по высоте с помощью трубки Пито диаметром 2 мм. Для исследуемых композитных покрытий оценивался коэффициент шероховатости по зависимостям Маннинга, Гангиле – Куттера и Н. Н. Павловского. **Результаты.** Проанализированы расчетные формулы, и выполнен анализ полученных результатов. Выведено среднее значение коэффициента шероховатости для двух покрытий. У покрытия с битум-полимерным вяжущим получился более низкий коэффициент шероховатости, это вызвано более гладкой структурой верхнего слоя покрытия, контактирующего с потоком воды. **Выводы.** Проведенные экспериментальные исследования для двух покрытий, заполненных щебнем с вяжущим и без него, показали возможности применения инновационного крепления на практике. Для исследуемых покрытий можно рекомендовать использовать: с покрытием, заполненным щебнем с битум-полимерным вяжущим, значение коэффициента $n = 0,0175$, а с покрытием, заполненным щебнем без вяжущего, значение $n = 0,0237$ (они были получены по формуле Маннинга). Благодаря полученным значениям коэффициентов шероховатости, при использовании обоих покрытий на практике можно более правильно выбрать тип покрытия, соответствующий проектируемым характеристикам канала или сооружения.

Ключевые слова: берегоукрепление, противозэрозийное покрытие, геомат, щебень, битум, водная эрозия, коэффициент шероховатости, откос

Финансирование: работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928.

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации» (г. Новочеркасск, 31 мая 2024 г.).

Для цитирования: Жукова Т. Ю., Еремеев А. В., Алексеев Д. А. Сравнение гид-



равлических характеристик геоматов, заполненных щебнем с вяжущим наполнителем и без него // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 31–43.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION

Original article

Comparison of the hydraulic characteristics of geomats filled with crushed stone with and without binder filler

Tatyana Yu. Zhukova¹, Andrey V. Ereemeev², Daniil A. Alekseev³

^{1,2,3}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

¹t.zhukova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3039>

²a.ereemeev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5826-0935>

³daniil.alekseev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1890-3471>

Abstract. Purpose: to compare the roughness coefficients of protective coatings of the river bed filled with crushed stone with and without binder. **Materials and methods.** The study was carried out on an experimental facility with a trapezoidal cross-section of a flume with a vertical right ($m = 0$), inclined left ($m = 1$) slopes, with a variable bottom slope $i = 0.001...0.0237$, the total length of the covered section is 8 m. The length of the working section was 4.9 m, the experiments were carried out when the flow rate at the facility varied from 43 to 166 l/s. Flow parameters were measured for two coatings at five measuring sections. Velocity measurements were carried out on 11 verticals, equidistant from each other and from the right wall of the flume. Velocities were measured at each vertical at six points along the height using a Pitot tube with a diameter of 2 mm. For the composite coatings under study, the roughness coefficient was estimated using the Manning, Gangillier – Kutter and N. N. Pavlovsky dependencies. **Results.** The calculation formulas and the results obtained were analyzed. The average value of the roughness coefficient for two coatings is derived. The coating with a bitumen-polymer binder has a lower roughness coefficient, this is due to the smoother structure of the top layer of the coating in contact with the water flow. **Conclusions.** Experimental studies carried out for two coatings filled with crushed stone with and without binder showed the possibility of using innovative fastening in practice. For the coatings under study, it can be recommended to use: with a coating filled with crushed stone with a bitumen-polymer binder, the coefficient value $n = 0.0175$, and with a coating filled with crushed stone without binder, the value $n = 0.0237$ (they were obtained using the Manning formula). Thanks to the obtained values of the roughness coefficients, when using both coatings in practice, it is possible to select the type of coating more correctly that corresponds to the designed characteristics of the channel or structure.

Keywords: bank strengthening, anti-erosion coating, geomat, crushed stone, bitum, water erosion, roughness coefficient, slope

Funding: the work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928.

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation” (Novocherkassk, May 31, 2024).

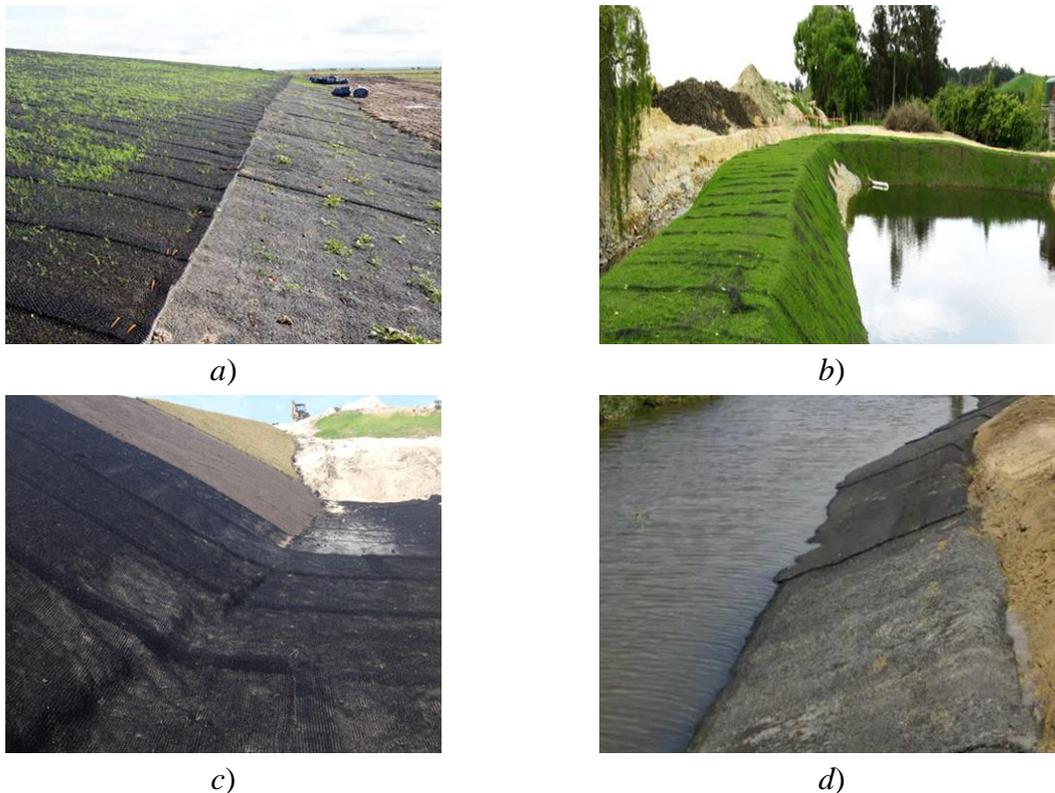
For citation: Zhukova T. Yu., Ereemeev A. V., Alekseev D. A. Comparison of the hydraulic characteristics of geomats filled with crushed stone with and without binder filler. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;93(2): 31–43. (In Russ.).

Введение. Мероприятия по берегоукреплению включают в себя комплекс работ по укреплению и защите прибрежной линии природных и искусственных водоемов и водотоков. Данные мероприятия выполняются для защиты от подмыва, обвала и эрозии берегового склона, вызванных воздействием течения потока, волн и ливневых потоков. Укрепление откосного участка особенно актуально при сооружении и реновации водоотводных каналов, русел рек, водоемов, водосбросов, плотин, дамб, возведении опор [1].

Выбор оптимального конструктивного решения при создании берегоукрепления водных объектов является задачей, при решении которой необходимо знать все расчетные параметры материала и работы конструкции противозерозионной защиты. Предотвратить негативный результат воздействия воды на целостность русел и склонов водных объектов можно довольно эффективно с помощью инженерных решений с использованием геосинтетических материалов. Среди таких материалов наибольшее распространение в современной природоохранной гидротехнике получил геомат Энкамат (Enkammat) разной типологии, который представляет собой легкое объемное трехмерное волокно из полимерных (полиэтилен, полипропилен) или синтетических материалов. Это сетки, изготовленные термическим методом соединения и переплетенные между собой в хаотичном или определенном порядке. Покрытие марки Энкамат, имеющее стабильную объемно-волокнистую структуру с подложкой из полиамидных мононитей, при определенных условиях эффективно укрепляет откосы каналов, малых рек и водоемов (рисунок 1).

Для создания более прочной конструкции, которая подвергается воздействию воздушных и водных масс, следует дать инженерно-техническое обоснование условий применения геомата Энкамат, не выявленных ранее [2]. Так как геомат изготавливается из полимерного материала, срок службы его достаточен для выполнения долговременной защитной функции. Тип мата подбирается в каждом конкретном случае в зависимости от области

применения. В данной работе используется геомат марки Энкамат А20, заполненный битум-полимером, и геомат марки Энкамат 7225 (рисунок 2).



a, b – с биологическим типом укрепления (посевом трав);
c, d – для укрепления дорожных кюветов, каналов
a, b – with a biological type of strengthening (sowing grass);
c, d – for strengthening road ditches, channels

Рисунок 1 – Укрепление откосов с применением противоэрозионного материала геомата марки Энкамат (автор фото С. Н. Щукин) [2]

Figure 1 – Strengthening slopes using anti-erosion geomat Enkammat brand material (photo by S. N. Shchukin) [2]



a – Энкамат А20; *b* – Энкамат 7225
a – Enkammat А20; *b* – Enkammat 7225

Рисунок 2 – Типы противоэрозионного материала геомата (автор фото С. Н. Щукин) [2]

Figure 2 – Types of anti-erosion geomat material (photo by S. N. Shchukin) [2]

Энкамат А20 относится к композиционным геоматам и представляет собой полиамидный проницаемый материал с подложкой, заполненный органоминеральной смесью с битум-полимерным вяжущим [3, 4]. Материал представляет собой тонкий (около 22 мм) каменный слой, армированный полиамидным геоматом с подложкой, каменный наполнитель повышает показатель устойчивости к разрушению, вызванному воздействием водного потока, и создает оптимальные условия для роста корневой системы через материал и грунт основания. Энкамат 7225 представляет собой проницаемую пространственную конструкцию из полиамидных мононитей, скрепленных термическим способом, в данной работе Энкамат 7225 заполнен щебнем с определенной фракцией от 6 до 10 мм [5–7].

Целью работы было проведение гидравлических исследований свойств геоматов, а также сравнение коэффициентов шероховатости защитных покрытий русла водотока, заполненных щебнем с вяжущим наполнителем и без него.

Материалы и методы. Проведенное исследование было направлено на определение и сравнение коэффициентов шероховатости для покрытий геомата Энкамат А20, заполненного щебнем с битум-полимерным вяжущим, и геомата Энкамат 7225, заполненного щебнем без вяжущего.

Исследование коэффициента шероховатости для данных покрытий проводилось на экспериментальной установке с трапециевидальным сечением лотка с вертикальным правым ($m = 0$), наклонным левым ($m = 1$) откосами, с переменным уклоном дна $i = 0,001...0,0237$, общей длиной участка с покрытием 8 м (рисунок 3). Длина рабочего участка составляла 4,9 м, опыты были проведены при изменении расходов на установке от 43 до 166 л/с [8, 9].

Исходя из условия заполнения пустот противозерозионного материала, для исследования данных покрытий был подобран гранулометрический состав щебня. Внутренняя поверхность лотка была обшита непроницаемой баннерной тканью. Для возможного уменьшения сил трения к вертикальному борту были прикреплены листы из гладкой пластмассы [10].



a)



b)



c)



d)

a – общий вид установки; *b* – установка, покрытая исследуемым материалом Энкаматом; *c, d* – фрагмент экспериментальной установки канала, покрытого Энкаматом 7225, заполненным щебнем с размером фракций от 6 до 10 мм, и Энкаматом А20, заполненным щебнем с вяжущим заполнителем

a – general view of the facility; *b* – facility coated with the Enkamat material under study; *c, d* – fragment of an experimental facility of a channel covered with Enkamat 7225 filled with a crushed stone with a fraction size from 6 to 10 mm, and Enkamat A20 filled with a crushed stone with binder filler

Рисунок 3 – Экспериментальная установка с трапецидальным сечением лотка, покрытая исследуемым материалом Энкаматом (авторы фото Т. Ю. Жукова, А. В. Еремеев)

Figure 3 – Experimental facility with a trapezoidal section of the tray, coated with the Enkamat material under study (photo by T. Yu. Zhukova, A. V. Eremeev)

Результаты исследований. Для двух данных покрытий в пяти мерных створах производились измерения параметров потока. Замеры скоростей выполнялись на 11 вертикалях, равноудаленных друг от друга и от правой стенки лотка. Замеры скоростей производились на каждой вертикали в шести точках по высоте с помощью трубки Пито диаметром 2 мм. Кинематика потока для определения коэффициента шероховатости n и коэффициента Кориолиса α изучалась по всему поперечному сечению лотка. Далее на мерных вертикалях в створах строились эпюры скоростей потока [10].

Для исследуемых композитных покрытий оценивался коэффициент шероховатости по известным зависимостям: Маннинга (1), Гангилье – Куттера (2) и Н. Н. Павловского (3) [10, 11]:

$$n_m = \frac{R^{2/3} \sqrt{J}}{V}, \quad (1)$$

$$n_{г-к} = \frac{23 \cdot R \cdot \sqrt{J} - V \cdot \sqrt{R}}{46 \cdot V} + \sqrt{\left(\frac{23 \cdot R \cdot \sqrt{J} - V \cdot \sqrt{R}}{46 \cdot V} \right)^2 + \frac{R \cdot \sqrt{J}}{23 \cdot V}}, \quad (2)$$

$$n_n = \frac{R^{0,37} + 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1) \cdot \sqrt{J}}{V}, \quad (3)$$

где n – коэффициенты шероховатости;

R – гидравлический радиус, дм;

J – гидравлический уклон.

Для данных двух покрытий экспериментальная установка по определению коэффициента шероховатости имела правую вертикальную стенку, обшитую глянцевым покрытием, коэффициент шероховатости для нее был принят равным $n_{нл} = 0,009$ как для поверхностей, покрытых эмалью или глазурью. Поэтому коэффициент шероховатости исследуемых композитных покрытий оценивался по формуле:

$$n_n = \frac{n_{ср} \cdot b + n_{ср} (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{ср} - n_{нл} \cdot h_{ср}}{b + \sqrt{m^2 + 1} \cdot h_{ср}}, \quad (4)$$

где b – ширина по дну канала, дм;

m – откос;

h – глубина потока, дм.

Был выполнен расчет двух покрытий для нахождения коэффициента шероховатости при реальных исходных данных исследованного канала. Для нахождения истинного значения коэффициента шероховатости данные значения пересчитывались по формуле (4).

В результате пересчета всех значений коэффициентов шероховатости были получены реальные значения данных защитных покрытий. Пересчитанные значения коэффициентов шероховатости n_n для покрытий Энкамат А20 с битум-полимерным вяжущим и Энкамат 7225 без вяжущего приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты расчета коэффициента шероховатости противозэрозийного покрытия геомата Энкамат А20, заполненного щебнем с битум-полимерным вяжущим

Table 1 – Results of calculating the roughness coefficient of the anti-erosion coating of the Enkamat A20 geomat, filled with crushed stone with a bitum-polymer binder

Обозначение параметра	$\sum n$	n_{cp}	n_{min}	n_{max}
n_M	1,0517	0,0175	0,0139	0,0216
$n_{2-к}$	0,9721	0,0162	0,0135	0,0193
n_n	1,0170	0,0170	0,0142	0,0199

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициента шероховатости противозэрозийного покрытия геомата Энкамат 7225, заполненного щебнем

Table 2 – Results of calculating the roughness coefficient of the anti-erosion coating of the Enkamat 7225 geomat filled with crushed stone

Обозначение параметра	$\sum n$	n_{cp}	n_{min}	n_{max}
n_M	2,109	0,0237	0,0222	0,0259
$n_{2-к}$	2,086	0,0226	0,0221	0,0255
n_n	2,102	0,0229	0,0224	0,0257

Для обоих видов покрытий каналов по результатам выполненных ранее исследований были проведены сопоставления с известными справоч-

ными данными. Как видно из данных таблиц 1 и 2, средние значения коэффициентов шероховатости, полученные по зависимостям Маннинга, Гангилье – Куттера и Н. Н. Павловского, различны для двух покрытий. Геомат Энкамат 7225, заполненный щебнем, благодаря большему значению коэффициента шероховатости увеличивает гидравлические сопротивления. При этом в обоих образцах средние значения коэффициента шероховатости, полученные по зависимости Маннинга, больше значений, полученных по другим зависимостям: для покрытия Энкамат А20 с битум-полимерным вяжущим $n = 0,0175$, а для покрытия Энкамат 7225 $n = 0,0237$.

Как видно из результатов расчетов, у покрытия с битум-полимерным вяжущим получился более низкий коэффициент шероховатости, это вызвано более гладкой структурой верхнего слоя покрытия, контактирующего с потоком воды. Благодаря полученным значениям коэффициентов шероховатости, при использовании обоих покрытий на практике можно более правильно выбрать тип покрытия, соответствующий проектируемым характеристикам канала или сооружения.

Выводы. Экспериментальные исследования, посвященные оценке коэффициента шероховатости для противозэрозионных покрытий геомата Энкамат А20, заполненного щебнем с битум-полимерным вяжущим, и геомата Энкамат 7225, заполненного щебнем без вяжущего, показали возможность применения инновационного крепления на практике.

На основании анализа и после расчетов коэффициентов шероховатости n для исследуемых покрытий можно рекомендовать использовать: с покрытием из Энкамата А20, заполненным щебнем с битум-полимерным вяжущим, значение коэффициента $n = 0,0175$, а с покрытием из Энкамата 7225, заполненным щебнем без вяжущего, значение $n = 0,0237$ (они были получены по формуле Маннинга).

В будущих исследованиях противозэрозионного материала Энкамат 7225 желательно изучение изменения коэффициента шероховатости

покрытия, связанного с вымыванием частиц твердого заполнителя из структуры последнего.

Список источников

1. Кривицкий С. В., Федотова О. А., Якубовская И. О. Экобионика: биоинженерная защита берега водоема // *Фундаментальные исследования основных направлений технических и физико-математических наук: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак, 2017. С. 68–73. EDN: ZUTPRN.*
2. Гидравлические исследования противэрозионного покрытия – геомата марки Энкамат А20 / А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков, А. И. Новиченко, С. Н. Щукин // *Доклады ТСХА: сб. тр. Междунар. науч. конф. «Научное кадровое обеспечение продовольственной безопасности России». М.: Грин Эра 2, 2015. Вып. 287, т. 2, ч. 1. С. 358–363. EDN: YJQSSM.*
3. Мельникова Е. П., Нужненко Ю. В., Скрышник Т. В. Повышение устойчивости грунтовых сооружений путем армирования геосинтетическими материалами // *Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Азов, 2016. № 1. С. 29–34. EDN: WKCXZH.*
4. Хомченко Ю. В. Устойчивость откосов и склонов, укрепленных геотекстильными материалами // *Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 16. С. 54–59. EDN: TQISZD.*
5. Системный анализ инновационного развития химических предприятий, выпускающих геосинтетические материалы / А. Г. Вендило, А. В. Квасюк, А. М. Бессарабов, Н. Е. Ковалева, М. Ю. Гафитулин, О. В. Стоянов, Г. Е. Заиков // *Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 8. С. 366–371. EDN: SEMNST.*
6. Аллямов Р. Р., Никифорова Е. Н., Максимов А. А. О применении геотекстиля для противодиффузионной защиты каналов и водоемов // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. 2017. № 1. С. 377–380. EDN: ZREDKZ.*
7. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве / С. В. Федосов, П. И. Поспелов, Т. О. Гойс, Н. А. Грузинцева, А. Ю. Матрохин, Б. Н. Гусев // *Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 101–106. EDN: VNRSEB.*
8. Гидравлические исследования условий работы покрытия из геокомпозитного материала – геомата марки Энкамат А20 / А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов, К. Д. Козлов // *Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 150-летию РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева: сб. ст. М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2015. С. 305–307. EDN: YTPSIJ.*
9. Результаты гидравлических исследований геомата с заполнителем из щебня на битум-полимерном вяжущем / А. В. Еремеев, А. П. Гурьев, Н. В. Ханов, В. П. Букреев // *Природообустройство. 2018. № 5. С. 48–54. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-5-48-54. EDN: AWLIYE.*
10. Модельные гидравлические исследования для определения коэффициента шероховатости материала Энкамат А20 / К. Д. Козлов, А. П. Гурьев, Д. В. Козлов, Н. В. Ханов // *Научная жизнь. 2016. № 1. С. 6–12. EDN: VUCGMX.*
11. Определение коэффициента шероховатости геоматов / В. А. Шнайдер, В. В. Сиротюк, Т. П. Троян, Е. Ю. Мосур // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 1. С. 73–79. EDN: TKOZVF.*

References

1. Krivitsky S.V., Fedotova O.A., Yakubovskaya I.O., 2017. *Ekobionika: bioinzhenernaya zashchita berega vodoema* [Ecobionics: bioengineering protection of reservoir banks]. *Fundamental'nye issledovaniya osnovnykh napravleniy tekhnicheskikh i fiziko-matematicheskikh nauk: sb. st. po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf.* [Fundamental Research of the Main Areas of Engineering, Physical, and Mathematical Sciences: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Sterlitamak, pp. 68-73, EDN: ZUTPRN. (In Russian).
2. Guryev A.P., Kozlov D.V., Khanov N.V., Fartukov V.A., Novichenko A.I., Shchukin S.N., 2015. *Gidravlicheskie issledovaniya protiverozionnogo pokrytiya – geomata marki Enkamat A20* [Hydraulic studies of anti-erosion coating from the geocomposite material – Enkamat A20]. *Doklady TSKHA: sb. tr. Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii “Nauchnoe kadrovoe obespechenie prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii”* [Reports TSHA: Proc. of the International Scientific Conference “Scientific Staffing for Food Security in Russia”]. Moscow, Green Era 2 Publ., iss. 287, vol. 2, pt. 1, pp. 358-363, EDN: YJQSSM. (In Russian).
3. Melnikova E.P., Nuzhnenko Yu.V., Skrypnik T.V., 2016. *Povyshenie ustoychivosti gruntovykh sooruzheniy putem armirovaniya geosinteticheskimi materialami* [Improving the stability of ground facilities by reinforcement geosynthetics]. *Sovremennyye tendentsii razvitiya i perspektivy vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy v mashinostroenii, obrazovanii i ekonomike: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current Trends in the Development and Prospects for the Introduction of Innovative Technologies in Engineering, Education and Economy: Proc. of the III International Scientific and Practical Conference]. Azov, no. 1, pp. 29-34, EDN: WKCXZH. (In Russian).
4. Khomchenko Yu.V., 2014. *Ustoychivost' otkosov i sklonov, ukreplennykh geotekstil'nymi materialami* [Stability of slopes and hillsides reinforced with geotextile materials]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], no. 16, pp. 54-59, EDN: TQISZD. (In Russian).
5. Vendilo A.G., Kvasyuk A.V., Bessarabov A.M., Kovaleva N.E., Gafitulina M.Yu., Stoyanov O.V., Zaikov G.E., 2014. *Sistemnyy analiz innovatsionnogo razvitiya khimicheskikh predpriyatii, vypuskayushchikh geosinteticheskie materialy* [The system analysis methodology for the innovative development of the chemical enterprises of geosynthetic materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], no. 8, pp. 366-371, EDN: SEMNST. (In Russian).
6. Allyamov R.R., Nikiforova E.N., Maksimov A.A., 2017. *O primenenii geotekstilya dlya protivofil'tratsionnoy zashchity kanalov i vodoemov* [On application of geotextiles for impervious protection of canals and reservoirs]. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy* [Physics of Fibrous Materials: Structure, Properties, High Technology and Materials], no. 1, pp. 377-380, EDN: ZREDKZ. (In Russian).
7. Fedosov S.V., Pospelov P.I., Gois T.O., Gruzintseva N.A., Matrokhin A.Yu., Gusev B.N., 2016. *Problemy otsenki kachestva i standartizatsii geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve* [Problems of quality assessment and standardization of geosynthetic materials in road construction]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], no. 1, pp. 101-106, EDN: VNRSEB. (In Russian).
8. Guryev A.P., Kozlov D.V., Khanov N.V., Kozlov K.D., 2015. *Gidravlicheskie issledovaniya usloviy raboty pokrytiya iz geokompozitnogo materiala – geomata marki Enkamat A20* [Hydraulic studies of the operating conditions of a coating made of geocomposite material – geomat grade Enkamat A20]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennaya 150-letiyu RGAU-MSKHA im. K. A. Timiryazeva: sb. st.* [Collection of Articles of International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 150th Anniversary of the Russian State Agrarian University – Moscow

Timiryazev Agricultural Academy]. Moscow, RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev Publ., pp. 305-307, EDN: YTPSIJ. (In Russian).

9. Ereemeev A.V., Guryev A.P., Khanov N.V., Bukreev V.P., 2018. *Rezultaty gidravlicheskikh issledovaniy geomata s zapolnitelem iz shchebnya na bitum-polimernom vyazhushchem* [Results of geomat hydraulic researches with a crushed stone filler on the bitum-polymer binder]. *Prirodooobustroistvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 48-54, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-5-48-54, EDN: AWLIYE. (In Russian).

10. Kozlov K.D., Guryev A.P., Kozlov D.V., Khanov N.V., 2016. *Model'nye gidravlicheskie issledovaniya dlya opredeleniya koeffitsienta sherokhovatosti materiala Enkamat A20* [Model hydraulic studies for determining the roughness coefficient of Enkamat A20 material]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 1, pp. 6-12, EDN: VUCGMX. (In Russian).

11. Shnaider V.A., Sirotyuk V.V., Troyan T.P., Mosur E.Yu., 2015. *Opredelenie koeffitsienta sherokhovatosti geomatov* [Determination of geomats roughness coefficient]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [The Russian Automobile and Highway Industry Journal], no. 1, pp. 73-79, EDN: TKOZVF. (In Russian).

Информация об авторах

Т. Ю. Жукова – ассистент кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, t.zhukova@rgau-msha.ru, ztu-12@mail.ru, SPIN-код: 5357-4597, AuthorID: 1111184, ORCID ID: 0000-0002-9654-3039;

А. В. Еремеев – старший преподаватель кафедры гидротехнических сооружений, кандидат технических наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, a.eremeev@rgau-msha.ru, EAndrey4@ya.ru, SPIN-код: 6290-9480, AuthorID: 999552, ORCID ID: 0000-0002-5826-0935;

Д. А. Алексеев – ассистент кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, daniil.alekseev@rgau-msha.ru, SPIN-код: 8085-3065, ORCID ID: 0009-0009-1890-3471.

Information about the authors

T. Yu. Zhukova – Assistant of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, t.zhukova@rgau-msha.ru, ztu-12@mail.ru, SPIN-код: 5357-4597, AuthorID: 1111184, ORCID ID: 0000-0002-9654-3039;

A. V. Ereemeev – Senior Lecturer of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Candidate of Technical Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, a.eremeev@rgau-msha.ru, EAndrey4@ya.ru, SPIN-код: 6290-9480, AuthorID: 999552, ORCID ID: 0000-0002-5826-0935;

D. A. Alekseev – Assistant of the Department of Hydraulic Engineering Constructions, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, daniil.alekseev@rgau-msha.ru, SPIN-код: 8085-3065, ORCID ID: 0009-0009-1890-3471.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 31–43.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 93, no. 2. P. 31–43.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2024;
принята к публикации 18.06.2024.
The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 22.05.2024; accepted for
publication 18.06.2024.*