

Оригинальная статья

УДК 627.83:532.5

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-54-59>



МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ГЕОМАТА С ГРУНТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ И ПОСЕВОМ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Жукова Татьяна Юрьевна , соискатель кафедры гидротехнических сооружений
SPIN-код: 5357-4597, AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru; ztu-12@mail.ru

Еремеев Андрей Викторович, канд. техн. наук, старший преподаватель;
SPIN-код: 6290-9480, AuthorID: 999552; a.eremeev@rgau-msha.ru; EAndrey4@yandex.ru

Ханов Нартмир Владимирович , д-р техн. наук, профессор;
SPIN-код: 4314-8184; AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru, nvkhanov@yahoo.com

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

Аннотация. Цель исследований – изучение вариантов использования геомата с растительностью, а именно подбор и выбор смеси трав для формирования травостоя в структуре покрытия и разработка методики гидравлического исследования. Описано проведенное исследование, которое было направлено на изучение особенностей формирования травостоя разных семян трав в структуре геомата. Изучены особенности формирования травостоя и определен наиболее подходящий сорт травы для его применения в составе покрытия, состоящего из геомата. Результаты исследований необходимы для дальнейшего применения покрытия, состоящего из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав, а также для определения его гидравлических характеристик – таких, как коэффициент шероховатости. Рассмотрена экспериментальная установка для исследования гидравлических характеристик противоэрозионного покрытия – геомата с растительностью. Описана методика определения гидравлических характеристик с уточнением коэффициента шероховатости противоэрозионного покрытия, состоящего из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав. Использование данного покрытия придаст откосу грунтового сооружения естественный природный вид без потери защитных свойств. Также благодаря посеву многолетних трав использование данного покрытия повысит экологические характеристики сооружения.

Ключевые слова: противоэрозионное покрытие, методика гидравлического исследования, геомат с растительностью, водная эрозия, защита, откос

Формат цитирования: Жукова Т.Ю., Еремеев А.В., Ханов Н.В. Методика гидравлического исследования противоэрозионного покрытия геомата с грунтовым заполнителем и посевом многолетних трав // Природообустройство. 2023. № 5. С. 54-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-54-59>

© Жукова Т.Ю., Еремеев А.В., Ханов Н.В., 2023

Original article

METHOD OF HYDRAULIC INVESTIGATION OF ANTI-EROSION COATING – GEOMATE WITH SOIL FILLER AND SOWING OF PERMANENT GRASSES

Zhukova Tatyana Yuruevna , applicant for the chair of “Hydraulic engineering constructions”, RSAU- MAA named after C.A. Timiryazev;

8 (903)-156-96-04, e-mail: ztu-12@mail.ru, SPIN-code: 5357-4597, AuthorID: 1111184; t.zhukova@rgau-msha.ru; ztu-12@mail.ru

Eremeev Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, senior lecturer, the chair of “Hydraulic engineering constructions”, RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev;

(916) 731-66-3; e-mail: a.eremeev@rgau-msha.ru, SPIN-code: 6290-9480, AuthorID: 999552; a.eremeev@rgau-msha.ru; EAndrey4@yandex.ru

Khanov Nartmir Vladimirovich , doctor of technical sciences, professor, head of the chair “Hydraulic engineering constructions”, RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev;

8 (916)- 952-58-15 e-mail: SPIN-code: 4314-8184, AuthorID: 464889; khanov@rgau-msha.ru, nvkhanov@yahoo.com

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev», Russian Federation

Abstract. The purpose of this study was to study the options for using a geomat with vegetation, namely the selection and selection of a mixture of herbs for the formation of herbage in the cover structure

and the development of a hydraulic study technique. This article describes the study, which was aimed at studying the features of the formation of herbage of different grass seeds in the structure of the geomat. The features of the grass stand formation were studied and the most suitable grass variety for its use as part of a coating consisting of a geomat was determined. The results of these studies are necessary for the further application of a coating consisting of a geomat filled with soil with sowing of perennial grasses, as well as for determining its hydraulic characteristics, such as the roughness coefficient. An experimental setup for studying the hydraulic characteristics of an anti-erosion coating, a geomat with vegetation, is considered. A technique is described for determining the hydraulic characteristics with the refinement of the roughness coefficient of an anti-erosion coating consisting of a geomat filled with soil with sowing of perennial grasses. The use of this coating will give the slope of the soil structure a natural look without loss of protective properties. Also, thanks to the sowing of perennial grasses, the use of this coating will increase the environmental performance of the structure.

Key words: anti-erosion coating, method of hydraulic investigation, geomat with vegetation, water erosion, protection, slope

Format of citation: Zhukova T.Y., Ereemeev A.V., Khanov N.V. Methodology of hydraulic study of anti-erosion coating – geomat with soil filler and sowing of perennial grasses // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 5. P. 54-59. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-54-59>

Введение. С развитием технологий в гидротехнике все чаще применяются современные геосинтетические материалы. Среди таких материалов большое распространение получил геомат. Геомат – это трехмерный геосинтетический материал, состоящий из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити термическим способом [1]. Геоматы обычно используются для того, чтобы защитить грунт от эрозии, закрепить на склоне корни трав, деревьев или небольших растений, а также в строительстве и гидротехнике. Благодаря тому, что геомат изготавливается из полимерного материала, срок службы мата является достаточным для долговременной защитной функции [2].

В природе существует естественный способ защиты грунтов от эрозии. Одним из вариантов такой защиты является растительность. Растительный покров прекрасно защищает почву от ветровой и водной эрозии. Для предотвращения такого рода явлений необходимо создание и развитие растительного слоя, устойчивого к воздействию эрозии и прочих неблагоприятных факторов. Исходя из этого предлагается рассмотреть защитное покрытие, состоящее из комбинации геомата, заполненного грунтом, содержащим семена многолетних трав [3, 4].

Использование геомата для закрепления растительного покрова повышает сопротивляемость грунта эрозии, что при определенных условиях служит альтернативой жесткой одежде откосов [5, 6].

При укладке данной композиции на поверхности откоса должен находиться слой из плодородного грунта и корней растений. Корни растений повышают плодородие почвы и уменьшают

вероятность эрозионного воздействия. Также корни растений переплетаются с нитями геомата, создавая достаточно плотное сплошное покрытие, укрепляя грунт. Благодаря данному эффекту грунт может выдержать большую нагрузку.

Цель исследований: изучение вариантов использования геомата с растительностью, а именно подбор и выбор смеси трав для формирования травостоя в структуре покрытия и разработка методики гидравлического исследования.

Материалы и методы исследований. Проведенные исследования были направлены на изучение особенностей формирования травостоя разных семян трав в структуре геомата. Результаты исследований необходимы для дальнейшего применения покрытия, состоящего из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав, а также для определения его гидравлических характеристик – таких, как коэффициент шероховатости.

Чтобы подобрать сорта многолетних трав, для проращивания через геомат был проведен эксперимент. В процессе эксперимента было изготовлено четыре образца покрытия, состоявшие из геомата с наполнителем из грунта и посева многолетних трав следующих сортов: райграс, смесь трав, овсяница красная, мятлик луговой.

Первый образец засеивался семенами сорта «Райграс». Семена на первый год после посадки образуют красивый густой газон. Стебли злака коленчато-восходящие или прямостоячие, в нижней части имеется достаточное количество листьев. Корневая система довольно мощная, сильно разветвленная, быстро проникает в почву и образует хорошую дернину.

Во второй образец засеивалась смесь трав, состоящая из следующих сортов: райграс

пастбищный – 50%, овсяница красная – 15%, овсяница луговая – 20%, тимофеевка луговая – 15%. На первый год после посадки семян образуется красивый густой газон, но побеги появляются на надземной части растения. В корневой системе можно увидеть только один узел. Семена являются нетребовательными к условиям произрастания.

Третий образец засеивался сортом семян «Овсяница красная». Овсяница красная – корневищно-рыхлокустовой низовой многолетний злак, образующий прочную дернину. Сорт является нетребовательным к условиям произрастания, морозостойким, засухоустойчивым, отличается значительной долговечностью, обладает высокой конкурентоспособностью.

Четвертый образец засеивался сортом «Мятлик луговой». Это многолетний корневищный рыхлокустовой низовой злак, медленно растущий в год посева. Вследствие преобладания низкорослых вегетативных побегов при скашивании мятлик луговой сохраняет значительно большую листовую поверхность.

Основа была выполнена из геомата. Образцы геомата укладывались на грунт основания, после укладки в структуру геомата заполнялся грунт, который засеивался семенами многолетних трав [7]. На фотографиях (рис. 1) представлены четыре образца, в которых происходило прорастание травостоя за первые 5 дней опыта.

Высота всех образцов травостоя в первые 5 дней опыта сильно не различалась. В последующие 2 недели опыта высота травостоя стала меняться: смесь трав стала увеличиваться каждый день на 5 мм-1 см, «Райграс» и «Овсяница красная» увеличивались на 1 см, а «Мятлик луговой» – на 3-5 мм.

В конце опыта высота роста травостоя четырех образцов соответствовала следующим параметрам: «Райграс» и смесь трав – 13,5-14 см, «Овсяница красная» – 7 см, «Мятлик луговой» не превысил 4,5 см. Через месяц после проведения опыта рост травостоев остановился. Для сравнения плотности корневой системы были сделаны разрезы всех четырех образцов. При проведении эксперимента прекращение

вегетации отмечалось у всех четырех образцов [7].

В результате анализа результатов исследований был составлен график зависимости высоты прорастания травостоя от времени (рис. 2).

В процессе прорастания трав за образцами проводилось визуальное наблюдение. Наилучшим образом проявили себя три образца из четырех, отличаясь равномерной густотой. Это были образцы с сортами смеси трав, «Райграс» и «Овсяница красная».

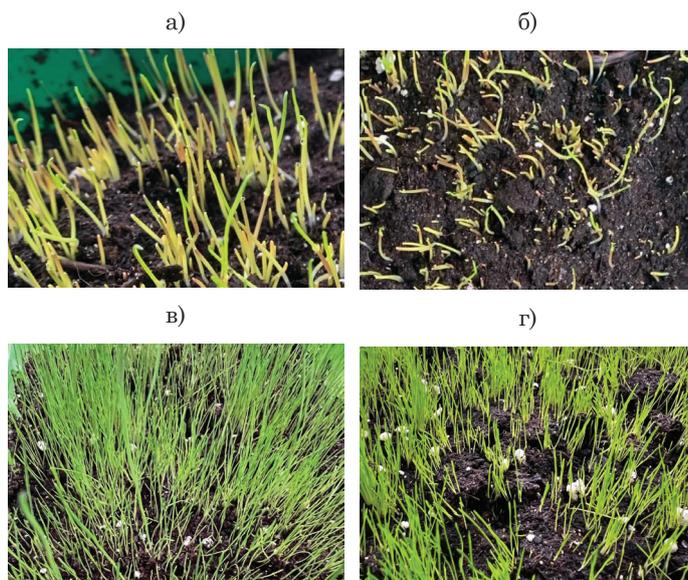


Рис. 1. Образцы противоэрозионного материала геомата с наполнителем из грунта и посева многолетних трав:

- а) райграс; б) смесь трав; в) овсяница красная; г) мятлик луговой

Fig. 1. Samples of anti-erosion material – geomat with soil filler and sowing of perennial grasses:

- a) ryegrass, b) mixture of grasses, c) red fescue, d) meadow bluegrass

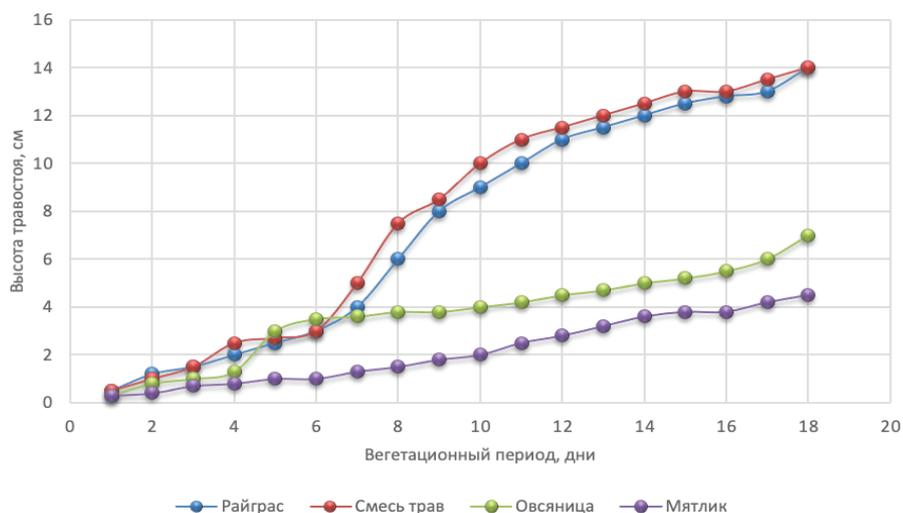


Рис. 2. Зависимость высоты прорастания травостоя от времени
Fig. 2. Dependence of the height of germination of the grass stand on time

На фотографиях (рис. 3) представлены разрезы всех четырех образцов: райграс, смесь трав, овсяница красная, мятлик луговой.

Отметим, что первый образец с семенами трав «Райграс» и третий образец с семенами трав «Овсяница красная» в период эксперимента проявили себя наилучшим образом. У данных образцов хорошо развита корневая система, благодаря чему корни растений хорошо обвивают нити геомата и более надежно фиксируют грунт в структуре. Эти образцы также обладают значительной связностью, плотностью и упругостью. Остальные два образца: смесь трав и «Мятлик луговой» – проявили слабые качества. У данных образцов корневая система не полностью обвивает нити геомата и тем самым хуже фиксирует грунт в структуре противоэрозионного покрытия. После проведения эксперимента, продолжительность которого составляла 18 дней, наблюдалось прекращение вегетации всех четырех образцов [7].

Анализируя полученные данные в результате наблюдений за травостоями, рекомендуем использовать сорт травы «Райграс» в структуре противоэрозионного покрытия для дальнейшего исследования с определением гидравлических характеристик и уточнением коэффициента шероховатости. Следует отметить, что за счет

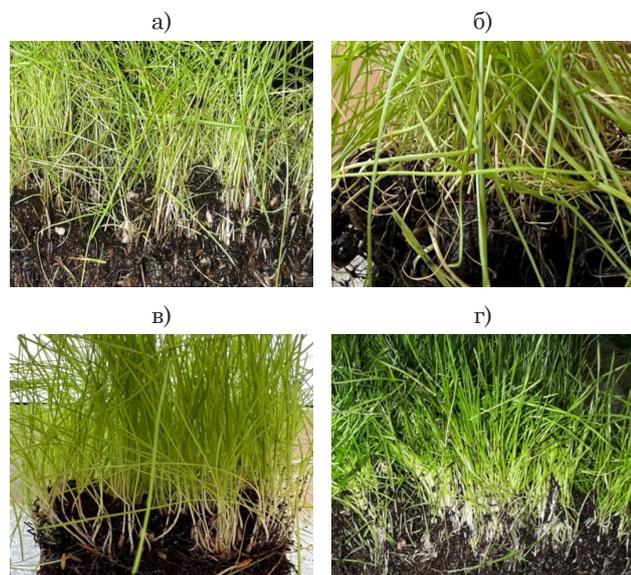


Рис. 3. Фотографии разрезов противоэрозионного материала геомата с наполнителем из грунта и посева многолетних трав:

- а) Райграс; б) смесь трав; в) Овсяница красная; г) Мятлик луговой

Fig. 3. Photo of sections of anti-erosion material – geomat with soil filler and sowing of perennial grasses:

- a) ryegrass, b) mixture of grasses, c) red fescue, d) meadow bluegrass

армирующих свойств корней травяного посева грунт, находящийся в структуре покрытия, не рассыпается.

Результаты и их обсуждение.

При изучении работы травостоя в структуре геомата в качестве крепления откосов канала необходимо обеспечить соблюдение требований по работе сооружения: сопротивление сдвигу, защиту от эрозии, поддержание параметров сечения, значение коэффициента шероховатости и др.

Для большинства материалов, используемых для облицовки откосов и дна канала, значение коэффициента шероховатости n существенно не меняется в зависимости от глубины и скорости потока и обычно принимается постоянным. Однако для травяных каналов значение n меняется и сильно зависит от глубины и скорости потока. Это изменение вызвано реакцией травы на поток. При увеличении глубины и скорости потока трава наклоняется, тем самым уменьшается ее высота, изменяя ее сопротивление, воздействующее на поток [8].

Для исследования гидравлических характеристик и уточнения коэффициента шероховатости с учетом влияния травостоя рассмотрим экспериментальную установку с регулируемым уклоном дна. Длина всего лотка составляет 8,6 м. В установке к приемному баку присоединен подводящий лоток, за ним следует рабочий участок. Далее из рабочего участка лотка вода поступает в отводящую часть. Успокоительная решетка установлена в начале лотка, она необходима для обеспечения равномерного режима течения. Также в установке имеется плоский затвор, к нижней кромке которого присоединена труба $d=0,1$ м [9].

Геомат с наполнителем из грунта и посева многолетних трав укладывается на дно и на откос канала, вертикальная стенка лотка не покрывается исследуемым материалом, так как вертикальную стенку невозможно выполнить с засевом трав. Дно и левый борт были накрыты армирующей сеткой для улучшения сцепления грунта с пластиковым модельным откосом.

Для проведения исследований выбрано трапециевидное сечение лотка с вертикальным $m=0$ правым и наклонным $m=1$ левым бортом, которое соответствовало половине реального трапециевидного сечения, представленное на фотографиях рисунка

Исследование планируется выполнять при равномерном установившемся движении воды с использованием формулы Шези (1) для определения расхода воды в канале [10-12]:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot J}. \quad (1)$$

Гидравлический радиус находим по формуле (2):

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (2)$$

Чтобы найти гидравлический уклон канала, используем формулу (3):

$$J = \frac{H_i - H_{i+1}}{l} \quad (3)$$

Применяем формулу Маннинга (4), формулу Гангиле-Куттера (5) и формулу Н.Н. Павловского (6) для определения коэффициента шероховатости:

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} \quad (4)$$

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (5)$$

$$C = \frac{R^y}{n} \quad (6)$$

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1) \quad (7)$$

Преобразовываем зависимости Маннинга (4), Гангиле-Куттера (5) и Н.Н. Павловского (6),

подставив их в формулу (1), и далее представленные получившиеся формулы (8-10):

$$n_i = \frac{R^{2/3} \cdot \sqrt{J}}{V} \quad (8)$$

$$n_{г-к} = \frac{23 \cdot R \cdot \sqrt{J} - V \cdot \sqrt{R}}{46 \cdot V} + \sqrt{\left(\frac{23 \cdot R \cdot \sqrt{J} - V \cdot \sqrt{R}}{46 \cdot V}\right)^2 + \frac{R \cdot \sqrt{J}}{23 \cdot V}} \quad (9)$$

$$n_{п} = \frac{R^{0,37+2,5\sqrt{n}-0,75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0,1)}}{V} \cdot \sqrt{J} \quad (10)$$

Экспериментальная установка имеет вертикальную стенку, обшитую глянцевым покрытием. Вертикальную стенку невозможно выполнить с засевом трав, как отмечалось выше. В таких руслах определяется средний коэффициент шероховатости по формуле (11), после чего преобразовываем ее и получаем формулу (12) для нахождения коэффициента шероховатости покрытия:

$$n_{ср} = \frac{n_n \cdot \chi_n + n_{пл} \cdot \chi_{пл}}{b + (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_p} \quad (11)$$

$$n_n = \frac{n_{ср} \cdot b + n_{ср} (1 + \sqrt{m^2 + 1}) \cdot h_{ср} - n_{пл} \cdot h_{ср}}{b + \sqrt{m^2 + 1} \cdot h_p} \quad (12)$$

Измерение скоростей планируется производить при помощи трубки Пито. Также планируется определить глубины и вычислить средние скорости потока по каждому мерному створу.

Выводы

В результате исследований были изучены особенности формирования травостоя и определен наиболее подходящий сорт травы для его применения в составе покрытия, состоящего из геомата. Описана методика определения гидравлических характеристик с уточнением коэффициента шероховатости противозерозионного покрытия, состоящего из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав.

Для дальнейшего изучения коэффициента шероховатости n защитного противозерозионного покрытия рекомендуется провести исследование канала, облицованного защитным покрытием, состоящего из геомата с наполнителем из грунта и посева многолетних трав.

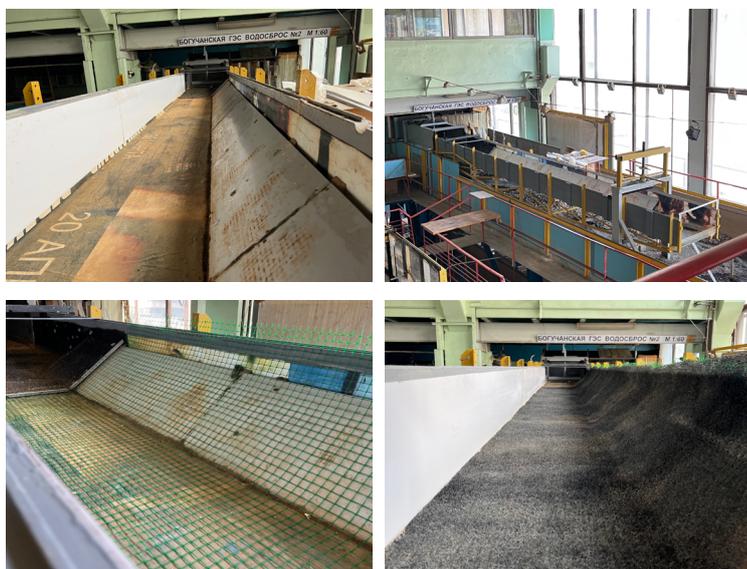


Рис. 4. Экспериментальная установка с трапецидальным сечением лотка, покрытая исследуемым материалом геоматом для определения гидравлических характеристик с вертикальным $m=0$ правым и наклонным $m=1$ левым бортом
Fig. 4. Experimental setup with a trapezoidal cross-section of a tray covered with a geomat to determine hydraulic characteristics with a vertical $m=0$ on the right side and an inclined $m=1$ on the left port side

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>. Работа выполнена с использованием оборудования учебно-научного центра (УН ЦКП) «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Financing. The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928/>. The work was carried out using the equipment of the Educational and Scientific Center (UN TSKP) "Service Laboratory for Complex Analysis of Chemical Compounds" of the Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev.

Список использованных источников

1. Жукова Т.Ю. Современные тенденции развития и перспективы внедрения геосинтетических материалов // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова: сборник статей. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. С. 69-73.
2. Жукова Т.Ю. Современное и инженерно-экологическое противоэрозионное покрытие, состоящее из геомата, заполненного грунтом с посевом многолетних трав // Аграрная наука-2022: Материалы Всероссийской конференции молодых исследователей. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. С. 8-11.
3. Хомченко Ю.В. Устойчивость откосов и склонов, укрепленных геотекстильными материалами // Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 16. С. 54-59.
4. Гладштейн О.И. Особенности применения геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве // Гидротехника. 2009. № 1 (14). С. 69-70.
5. Коренева В.В., Козыр И.Е., Штеренлихт Д.В. Гидравлическое и конструктивное обоснование берегозащитных и берегоукрепительных мероприятий на водных объектах: учебное пособие. М.: МГУП, 2002. 116 с.
6. Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Применение геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве в качестве противодиффузионных элементов плотин и дамб // Гидротехника. СПбГУ, 2009. № 1. С. 71-75.
7. Zhukova T.Yu., Ereemeev A.V., Khanov N.V. and Bobur Shodiev. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses // E3S Web Conferences. 2023. 365. P.04034.
8. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов. М.: Литература по строительству, 1969. 462 с.
9. Козлов К.Д., Гурьев А.П., Ханов Н.В. Гидравлические исследования покрытия из геокомпозитного материала // Природообустройство. 2014. № 5. С. 80-86.
10. Козыр И.Е., Пикалова И.Ф., Ханов Н.В. Практикум по гидравлике: учебно-методическое пособие. СПб.: Лань, 2016. 176 с.
11. Гидротехнические сооружения: учебник / Под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат, 1985. 432 с.
12. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика: учебник. М.: Энергия, 1964. 352 с.

Критерии авторства / Authorship criteria

Жукова Т.Ю., Еремеев А.В., Ханов Н.В. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Жукова Т.Ю., Еремеев А.В., Ханов Н.В. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 16.05.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 05.09.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 16.09.2023

References

1. Zhukova T.Yu. Modern development trends and prospects for the introduction of geosynthetic materials // Materials of the international scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 135th anniversary of the birth of A.N. Kostyakov. Collecton of articles. M.: RGAU-MSHA Publishing House. 2022. P. 69. 73.
2. Zhukova T.Yu. Modern and engineering-ecological anti-erosion coating, consisting of a geomat filled with soil with sowing of perennial grasses. T.Yu. Zhukova // In the collection: Agrarian Science – 2022. Materials of the All-Russian Conference of Young Researchers. 2022. P. 8-11.
3. Khomchenko Yu.V. Stability of slopes and slopes reinforced with geotextile materials / Yu.V. Khomchenko // Bulletin of the Polotsk State University. – 2014. – No. 16. – P. 54-59.
4. Gladshstein O.I. Features of the use of geosynthetic materials in hydraulic engineering construction. Hydrotechnics. 2009. No. 1 (14). P. 69-70.
5. Koreneva V.V., Kozyr I.E., Shterenlicht D.V. Hydraulic and constructive substantiation of bank protection and bank protection measures at water bodies: textbook. M.: MGUP, 2002. 116 p.
6. Lupachev O.Yu., Teleshev V.I. Application of geosynthetic materials in hydrotechnical construction as anti-filtration elements of dams and dikes. SPbSTU, 2009, No. 1. P. 71-75.
7. Zhukova T. Yu., Ereemeev A.V., Khanov N.V. and Bobur Shodiev. Study of possibility application of anti-erosion coating – geomate with ground and sowing of permanent grasses. E3S Web Conferences, 2023, 365, 04034
8. Chow V.T. Hydraulics of open channels / V.T. Chow. Moscow: "Literature on construction" Publishing house. 1969. 462 p.
9. Kozlov K.D., Guriev A.P., Khanov N.V. Hydraulic studies of coatings made of geocomposite material. Prirodobustrojsstvomg. 2014. No. 5. P. 8086.
10. Kozyr I.E., Pikalova I.F., Khanov N.V. Practicum in hydraulics. Teaching guide. St. Petersburg, "Lan", 2016. 176 p.
11. Hydraulic structures. Textbook: edited by Rozanova N.P. – M.: Agropromizdat, 1985. – 432 p.
12. Agroskin I.I., Dmitriev G.T., Pikalov F.I. Hydraulics: textbook. M.: Energy, 1964. 352 p.

Zhukova T.Y., Ereemeev A.V., Khanov N.V. conducted theoretical and experimental practical researches, based on which they summarized the results and wrote the manuscript.

Zhukova T.Y., Ereemeev A.V., Khanov N.V. have the copyright for the article and are responsible for the plagiarism.