

Источник фото: <https://www.maccaferri.com/ru/Решения/защита-склонов/>
The photo source: <https://www.maccaferri.com/ru/Решения/защита-склонов/>

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫМИ СРЕДСТВАМИ И ФОРМИРОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

БИСКЕТТИ ДЖ.Б.

Миланский университет, г. Милан,
Италия

АННОТАЦИЯ

Представляем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод отчета [1] о библиографических исследованиях о влиянии различных противоэрозионных средств на эффективность образования растительного покрова на откосах и склонах. Эти исследования были выполнены по договору между Миланским университетом и итальянской транснациональной компанией Maccaferri («Маккаферри»). Текст отчета подготовил профессор Миланского университета Джан Баттиста Бискетти. В самих исследованиях помимо него также приняли участие и другие представители Миланского университета (доктор наук Андреа Андреоли, инженер Алессіо Числаги), а также ряд инженеров компании «Маккаферри» (Никола Маццон, Паоло Бьянкини, Паоло Ди Пьетро, Пьетро Пеццано, Пьетро Римольди, Марко Викари).

В конце описания результатов исследований приводится информация о влиянии на вегетацию и об общей эффективности работы геоматов MacMat («МакМат»), производимых компанией «Маккаферри». Отметим, что эта компания с 1994 года имеет подразделение в России, представительства в остальных странах СНГ и завод в Московской области).

Ссылка на первоисточник [1] для перевода приведена в начале списка литературы. Остальные источники из списка были использованы автором оригинальной работы.

Консультативную помощь при подготовке перевода оказал Иван Александрович Кукло – директор по маркетингу компании «Маккаферри СНГ» в Москве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

противоэрозионные средства; геосетки; георешетки; геоматы; геоодеяла; растительный покров; склоны; откосы.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бискетти Дж.Б. Взаимосвязь между противоэрозионными средствами и формированием растительного покрова // Геоинфо. 2023. № 3. С. 24–37
DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-3-24-37

RELATIONSHIPS BETWEEN EROSION CONTROL PRODUCTS AND VEGETATION GROWTH

BISCHETTI G.B.

University of Milan, Milan, Italy

ABSTRACT

We present to the readers a slightly abridged and adapted translation of the report [1] on bibliographic studies of the influence of various erosion control products on vegetation establishment on artificial and natural slopes. Those studies were performed under a contract between the University of Milan and the Italian multinational company "Maccaferri". The text of the report was prepared by Gian Battista Bischetti who is a professor of the University of Milan. In addition to him, other representatives of the University of Milan (DSc Andrea Andreoli, engineer Alessio Cislighi), as well as a number engineers of the "Maccaferri" company (Nicola Mazzon, Paolo Bianchini, Paolo Di Pietro, Pietro Pezzano, Pietro Rimoldi, Marco Vicari) also took part in the studies themselves.

At the end of the description of the research results, the report gives some information on the the influence of "MacMat" geomats (produced by the "Maccaferri" company) on vegetation establishment and anti-erosion effect efficiency. (It should be noted that since 1994 the "Maccaferri" company has had a division in Russia, representative offices in other CIS countries and a factory in the Moscow region).

The reference to the original source [1] for the translation is given at the beginning of the list of references. The remaining sources from the list were used by the author of the original paper.

Some advisory assistance during the translation work was provided by Ivan Aleksandrovich Kuklo who is the marketing director of the "Maccaferri CIS" company in Moscow.

KEYWORDS:

erosion control products; geonets; geogrids; geomats; geoblankets; vegetation cover; natural slopes; artificial slopes.

FOR CITATION:

Bischetti G.B. Vzaimosvyaz' mezhdu protiverozionnymi sredstvami i formirovaniyem rastitel'nogo pokrova [Relationships between erosion control products and vegetation growth]. *GeoInfo*. 2023. 3: 24–37
DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-3-24-37 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Естественная растительность часто считается достаточной защитой откосов и склонов от эрозии при условии, что она «хорошо прижилась» [2]. Такое качественно определенное условие можно отождествить с тем, что Департамент транспорта Техаса считает «приемлемой плотностью растительности», – 80 и 70% покрытия поверхности откосов и насыпей из глинистых и песчаных грунтов соответственно (и 70% – для берегов рек) [3].

Кроме того, необходимо учитывать сдвигающие воздействия потоков при высоких уровнях воды и сравнивать их величины с сопротивлением склонов, покрытых растительностью. Однако растительного покрова может быть недостаточно, когда сдвигающее воздействие потока сильнее пороговых значений со-

противления откоса или склона или если растительный покров разрушен или недостаточен.

Создание растительного покрова на эродированных склонах холмов и на берегах рек может быть затруднено в сложных реальных условиях (микrokлиматических, грунтовых и др.). Кроме того, всегда должно пройти определенное время, прежде чем растительность хорошо приживется, – и в этот период грунт в любом случае подвержен риску эрозии из-за интенсивных дождевых осадков, неожиданного высокого уровня воды и пр. Полное формирование растительного покрова обычно занимает до 1–2 вегетационных сезонов в районах с умеренным климатом или даже дольше в более суровых условиях, тогда как в тропических широтах времени на это

уходит меньше (но это уравновешивается увеличением скорости распада противоэрозионных продуктов) [4].

Поэтому для защиты откосов и склонов и создания устойчивых неразмываемых поверхностей, благоприятных для укоренения и роста растений, часто используют изделия для борьбы с эрозией, изготовленные из синтетических или органических волокон (например, [5, 6]). Но такие изделия могут способствовать или препятствовать формированию растительного покрова в зависимости от их характеристик, а также грунтовых и климатических условий.

За прошедшие годы было разработано множество противоэрозионных изделий из натуральных или синтетических материалов (геотекстиль, геосинтетика, геосетки, георешетки, геоматы, геодеяла).

В литературе можно найти разные термины для такого рода продуктов. В последнее десятилетие Совет по технологическому контролю эрозии (Erosion Control Technology Council, ECTC) и Американское международное общество по испытаниям и материалам (American Society for Testing and Materials, ASTM) [7] называют эти изделия рулонными противоэрозионными средствами (Rolled Erosion Control Products – RECPs). Используются также гидравлические (гидропосевные) средства для защиты от эрозии (Hydraulic Erosion Control Products, HECPs), например мульча.

В данном обзоре эти продукты будут называться противоэрозионными средствами / продуктами / изделиями (Erosion Control Products, ECP).

Первая приблизительная классификация противоэрозионных средств может быть выполнена в соответствии с материалами, использованными для их изготовления.

1. *Биологические (органические) средства из натуральных волокон (кокосовых, джутовых, пальмовых, лубяных, бумажных, соломенных, древесно-стружечных и т. д.)*. Эти продукты поддаются полному биоразложению, имеют ограниченную прочность, ограниченный срок службы (от 1–2 лет [8], до 4–10 лет [9]) и высокую изменчивость характеристик. Обычно они изготавливаются в виде тканого (плетеного) геотекстиля со сквозными ячейками или, как в случае геоодеял, из плотного слоя случайно ориентированных волокон с небольшой долей общей площади сквозных отверстий. Джутовые сетки характеризуются высокой драпируемостью (прилеганием к поверхности грунта) и гибкостью [10], хотя их прочность на разрыв является умеренной и обычно сохраняется только в течение 1–2 лет [8]. Кокосовые волокна служат дольше, чем другие натуральные материалы [11], и могут применяться для производства тканых или нетканых изделий. Такие продукты в основном используются в развивающихся регионах из-за их доступной стоимости [12].

2. *Синтетические изделия, обычно изготавливаемые из полимеров (полипропилена, полиамида-6 (ПА6) или полиэстера)*. Геосинтетические продукты имеют более длительный срок службы (не менее 20 лет [9]), более высокую прочность, менее изменчивые характеристики и включают такие изделия, как: двухосно ориентированные легкие георешетки, двумерные геосетки, геоматы, армированные геоматы (изготавливаемые

путем комбинирования геоматов и георешеток или металлических сеток). В эти продукты могут быть заложены цветостойкость и устойчивость к ультрафиолетовому облучению с учетом конкретных требований в зависимости от места эксплуатации и требуемого срока службы. Их можно разместить на откосе или склоне, чтобы помочь растительности противостоять эрозии. К тому же они не усыхают и не набухают, поскольку не впитывают влагу.

Вторая классификация относится к технологии изготовления противоэрозионных продуктов:

1) *легкие георешетки и геосетки со сквозными ячейками* – двумерные продукты, произведенные из полипропилена, полиэтиленовых смол или натуральных волокон;

2) *геоодеяла* в виде матов из натуральных или синтетических волокон, которые скреплены между собой натуральными или синтетическими легкими сетками;

3) *геоматы*, обычно изготавливаемые из переплетенных (спутанных) синтетических нитей, образующих сильно деформируемый упругий слой толщиной от 10 до 20 мм с очень высоким показателем пустотности (в среднем более 90%) (геоматы можно комбинировать с георешетками или металлическими сетками для образования геокомпозитных конструкций, называемых армированными геоматами).

Циглер и др. [13] считают, что на эффективность работы противоэрозионных изделий больше влияют их физические свойства, а не сам материал. В действительности характеристики этих продуктов, эффективность их работы и успех образования на защищенных ими участках растительного покрова в основном зависят именно от сочетания материала и технологии его обработки.

В то время как большое количество исследований было сосредоточено на эффективности противоэрозионных изделий (особенно изготовленных из биологических материалов) в отношении снижения потерь грунта при поверхностном стоке [15–18], гораздо меньше оценивалось влияние различных контролирующих эрозию продуктов на успешное развитие растительного покрова [4, 19–21].

Настоящее исследование направлено на то, чтобы посредством анализа литературных данных определить, какие характеристики разных категорий противоэрозионных изделий более важны для

формирования на защищенных ими участках растительного покрова.

РОЛЬ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ►

Противоэрозионные средства оказывают двойное влияние на успешность вегетации. С одной стороны, они обеспечивают непосредственную защиту поверхности грунта от поверхностного стока по склонам холмов, берегам рек и откосам при дождях, а также от воздействий водных потоков при высоких уровнях воды в реках или ручьях. С другой стороны, они влияют на факторы, которые стимулируют прорастание семян, укоренение и рост растений, способствуя или препятствуя их действию (например, [21]). Во-первых, противоэрозионные изделия могут изменить микроклимат у поверхности грунта [5, 22–24], а затем и биологические процессы, регулирующие формирование растительного покрова. Во-вторых, они могут изменять гидрологические процессы, особенно в отношении поверхностного стока и инфильтрации влаги в грунт, а также механически препятствовать росту растений.

В следующих разделах будут рассмотрены ключевые факторы (температура, влажность и тип грунта, видовой состав растений, время посева или высадки рассады, климатические условия и др.), влияющие на успех вегетации, и их взаимосвязь с противоэрозионными средствами.

Температура ►

Поверхностная и подповерхностная температура грунта в основном зависит от поглощенного коротковолнового излучения, которое, в свою очередь, влияет на влажность грунта, прорастание семян, производство биомассы и распределение потоков неизлучаемой энергии, скрытой и ощутимой теплопередачи.

Прорастание семян и рост растений тесно связаны с температурой грунта в зонах роста развития корней и на поверхности. С одной стороны, для прорастания семян и укоренения растений температура должна достичь определенных порогов, обычно выражаемых в градусо-днях роста [25]. С другой стороны, слишком высокие температуры грунта могут быть вредны для спящих семян и появляющихся всходов [26, 27] по меньшей мере в трех отношениях:

1) высокие температуры грунта вызывают физиологический стресс и возможную гибель семян и ростков;

2) высокие температуры грунта снижают доступность воды и уменьшают диффузию элементов, необходимых для роста корней;

3) быстрое высыхание поверхности грунта приводит к повышению прочности его верхнего слоя, что может ограничить появление всходов.

Некоторые исследования показали, что покрытие грунтов органической мульчей (соломой, сеном, стружкой, листьями, хвоей, бумагой, корой, щепой, опилками или другими остатками сельскохозяйственного или деревообрабатывающего производства) обеспечивает более умеренный температурный режим по сравнению с непокрытой поверхностью в сопоставимых условиях и улучшает прорастание семян, укоренение, появление всходов и рост трав (например, [26]). В частности, есть данные, указывающие на то, что грунты, покрытые мульчей, в жаркое время имеют значительно более низкие пиковые дневные температуры (например, [26, 28, 29]). Гупта и др. [28] объяснили более низкие максимальные температуры грунта под мульчей ее меньшей теплопроводностью и большим альбедо. Следует, однако, отметить, что в условиях низкой солнечной радиации можно было бы ожидать незначительных преимуществ мульчирования с точки зрения снижения температуры грунта. Но в условиях высокой солнечной радиации, например в тропиках, могла бы быть большая польза от покрытия грунтов мульчей (например, [30]). (При этом в России и других странах с более холодным климатом мульча могла бы предохранить поверхностный грунт от излишних потерь тепла или даже промерзания при заморозках. – Ред.).

Противоэрозионные средства, действуя как мульча, могут перераспределять тепло и изменять температуру всей системы и грунта, смягчая температурные колебания. Максимальные дневные температуры снижаются, поскольку противоэрозионные продукты поглощают солнечную энергию, тогда как ночью они, наоборот, могут предотвращать потери тепла за счет изоляции, повышая средние температуры грунтов и уменьшая их экстремальные значения [5]. Дудек и др. [31] обнаружили, что на глубине 1,3 см в ясный день температура поверхностного грунта, защищенного геоодеялами или органическими геосетками, составляла соответственно 12,7 и 15,7 °С и была значительно ниже по сравнению с голым склоном (21,8 °С). То же самое было отмечено и Мапа [32]

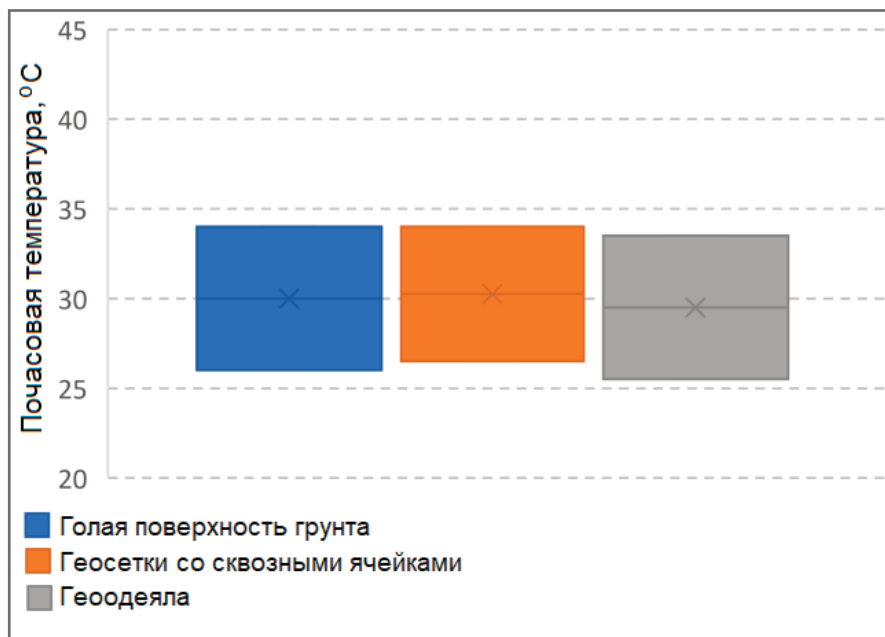


Рис. 1. Почасовая температура незащищенного грунта и грунта под противоэрозионными изделиями на глубине 8 см от поверхности (по [15])

в отношении продуктов из кокосового волокна.

Сазерленд и др. [24] (рис. 1) обнаружили, что все протестированные противоэрозионные средства оказали смягчающее влияние при экстремальных температурах, но геосетки со сквозными ячейками и тонкие геоодеяла в основном оказывали ограниченное влияние на сглаживание температурных экстремумов. Толщину изделия, однако, следует рассматривать в сочетании с другими его характеристиками, такими как архитектура расположения волокон (например, в сетке с регулярной ориентацией волокон и одинаковыми сквозными ячейками или в геоодеяле со случайной ориентацией волокон) и их скрученность, что может привести к различной теплопроводности. Положительная взаимосвязь между толщиной противоэрозионного изделия и продуктивностью формирования растительного покрова была также обнаружена Файфилдом и Малнором [33].

Таким образом, общее влияние противоэрозионных средств на температуру грунта зависит от сочетания технологии производства изделия, состава его материала, размера отверстий, цвета, толщины и кроющей способности (степени прилегания к грунту). Сазерленд и др. [15] показали, что противоэрозионные продукты влияют на значения альбедо поверхности и что разные продукты имеют разное влияние в зависимости от их цвета и теплопроводности. Однако после полного формирования растительного покрова не должно наблюдаться никакой разницы.

Влажность грунта ►

Высокие температуры поверхностного грунта усиливают испарение и снижают содержание в нем влаги, что сильно зависит от суточных колебаний температуры. В агрономической литературе продемонстрировано регулирование температуры грунта и сохранение его влажности с помощью мульчирования [34 и др.]. Например, сухой песчаный грунт имел удельную теплоемкость около 800 Дж/(кг*К), а для такого же, но водонасыщенного грунта она составила 1480 Дж/(кг*К) [34]. Это означает, что для повышения температуры килограмма влажного грунта на заданную величину потребовалось бы почти вдвое больше тепловой энергии [16].

Таким образом, грунты с мульчированной поверхностью обычно имеют большее содержание влаги (из-за уменьшения испарения в результате более умеренного температурного режима) и более высокое производство биомассы по сравнению с не покрытыми мульчей грунтами.

Поэтому и противоэрозионные изделия, если они действуют как мульча, значительно ограничивают экстремальные значения температур поверхностного грунта и обеспечивают большее сопротивление переносу водяного пара из грунта в атмосферу. Некоторые авторы продемонстрировали влияние таких продуктов на содержание влаги в грунте [4, 5, 16, 36, 37].

Помимо регулирования температуры грунта некоторые противоэрозионные изделия имеют влагоудерживающую

Таблица 1. Влагоудерживающая способность некоторых противоэрозионных изделий (по [4])

Тип противоэрозионного изделия	Средняя масса в насыщенном водой состоянии	Масса через 24 ч после водонасыщения	Масса через 48 ч после водонасыщения
	% от массы в сухом состоянии		
Тканое (плетеное) из джутовых волокон с массой на единицу площади 500 г/м ²	641	268	116
Тканое (плетеное) из джутовых волокон с массой на единицу площади 300 г/м ²	472	203	101
Древесная стружка в легкой разлагаемой сетке	389	129	103
Нейлоновый 3D мат	232	100	100
Полипропиленовый 3D мат	183	100	100
Тканое (плетеное) из кокосовых волокон с массой на единицу площади 750 г/м ²	314	187	104

способность (влагоемкость) и влияют на его влажность (особенно натуральные продукты, такие как джутовые и кокосовые волокна). Рейнольдс [23] обнаружил, что продукт, сотканный (сплетенный) из джута, способен поглощать количество дождевых осадков, эквивалентное 2 мм. Риксон [20] обнаружил значительные различия в степени впитывания влаги для разных изделий и то, что некоторые натуральные продукты способны удерживать воду до шести раз больше своей массы в сухом состоянии. Эти продукты удерживали влагу даже после 48 часов свободного дренажа (таблица 1). На влагоемкость может влиять конфигурация волокон, особенно натуральных. Риксон [20] обнаружил, что плотно скрученные (переплетенные) кокосовые волокна обладают меньшей влагоудерживающей способностью по сравнению с неплотно переплетенными джутовыми волокнами при той же массе на единицу площади изделия.

Водоудерживающая способность противоэрозионных средств является спорной характеристикой. С одной стороны, ее часто считают положительной, поскольку предполагается, что влага, удерживаемая этими изделиями, доступна для растительности. С другой стороны, ее считают отрицательной, потому она уменьшает количество воды, которое достигает грунта, становясь доступным для растений.

Во многих технических информационных бюллетенях производители указывают, что противоэрозионные средства из соломы и кокосовой соломы превосходят другие средства, способствующие удержанию влаги в грунте, хотя данные, на которых основаны эти утверждения, не имеют строгой статистической структуры [16].

Дудек и др. [31] обнаружили, что влажность в верхних 2,3 см грунта под противоэрозионным средством была значительно выше, чем при отсутствии одного. Урроз и Израэльсен [38] оценили 19 различных противоэрозионных средств (11 типов мульчи и 8 типов геотекстиля) и обнаружили, что чем больше грунта и воды удерживается продуктом, тем больше степень и скорость прорастания, высота растений и их масса. Моро [39], изучая микроклиматическое воздействие нетканых изделий из льняного волокна на прорастание семян, выявили следующее. Эти изделия давали более высокие значения влажности грунта (в пределах 3–5%) по сравнению со случаем их отсутствия. Это не влияло на скорость прорастания, но через 10 дней средний процент проросших семян при наличии противоэрозионного средства всегда был больше, чем в контрольном случае.

Сазерленд и др. [16] обнаружили, что противоэрозионные продукты увеличивают содержание влаги в защищенном ими грунте (рис. 2) за счет значительного

уменьшения испарения по сравнению с незащищенной поверхностью, что благоприятно для прорастания семян и физиологических процессов в растениях. Однако те же авторы, переработав данные Вайдья [40], не выявили существенных различий в содержании влаги и температуре поверхности между незащищенным грунтом и грунтом, покрытым тремя разными противоэрозионными изделиями (сеткой из органического материала со сквозными ячейками и двумя разными геотекстилями из органических материалов). Однако Альварес-Мозос и др. [18] отметили, что впитывание дождевой воды органическими волокнами изделия без ее проникновения в грунт может уменьшить количество воды, доступной для растений.

В целом, должны рассматриваться все полученные результаты исследований с учетом возможной разницы между экспериментами и случаями практического применения.

Рейнольдс [23] обнаружил, что урожайность вегетативной массы повышалась по мере увеличения объема противоэрозионного изделия, но уточнил, что это происходило на участках, где рост растений ограничивался низкой влажностью грунта.

Выделим дополнительные моменты, связанные с противоэрозионными средствами и влажностью грунта:

1) водопоглощение противоэрозионного изделия может уменьшить его приле-

гание к поверхности грунта, что считается еще одним ключевым фактором [5];

2) чрезмерное снижение испарения на склонах, покрытых противоэрозионными средствами, может привести к плохой аэрации грунтов, что может способствовать заражению растений грибковыми инфекциями и к другим проблемам с их здоровьем [17];

3) при более высоких температурах грунта может произойти его быстрое уплотнение и образование корки на его поверхности, что приведет к плохому развитию растений [41, 42]

Доля закрытой поверхности грунта для противоэрозионных изделий ▶

Размещение противоэрозионного средства на поверхности грунта может ее стабилизировать (Морган [43] определил, что покрытие поверхности мульчей на 65–75% является оптимальным для временной защиты от эрозии и появления всходов растений). Но, как было показано выше, противоэрозионные продукты в соответствии с процентом общей площади, занимаемой сквозными отверстиями, также влияют на несколько микроклиматических факторов (на улавливание света, альбедо, температуру, инфильтрацию и содержание воды в грунте).

Помимо микроклиматических эффектов противоэрозионные изделия с высокой долей закрытой поверхности грунта, хотя и лучше снижают темпы и степень эрозии, могут препятствовать образованию растительного покрова, поскольку семена могут не попасть в грунт из-за небольших сквозных отверстий в продукте [10, 23]. Рейнольдс [23] указал, что минимальный размер сквозного отверстия, чтобы не было препятствий, должен составлять 1,3 см. Креницкий и Кэрролл [5] отметили, что геоматы часто бывают слишком плотными и могут препятствовать образованию растительного покрова. Наблюдения Файфилда и Молнара [33] также показали, что с увеличением плотности противоэрозионных продуктов продуктивность растительного покрова уменьшается.

С другой стороны, для успеха вегетации крайне важно хорошее сцепление семян с грунтом [5, 23, 44], и этому способствует вес, а также однородность распределения сквозных отверстий в противоэрозионном изделии или в мульче [5].

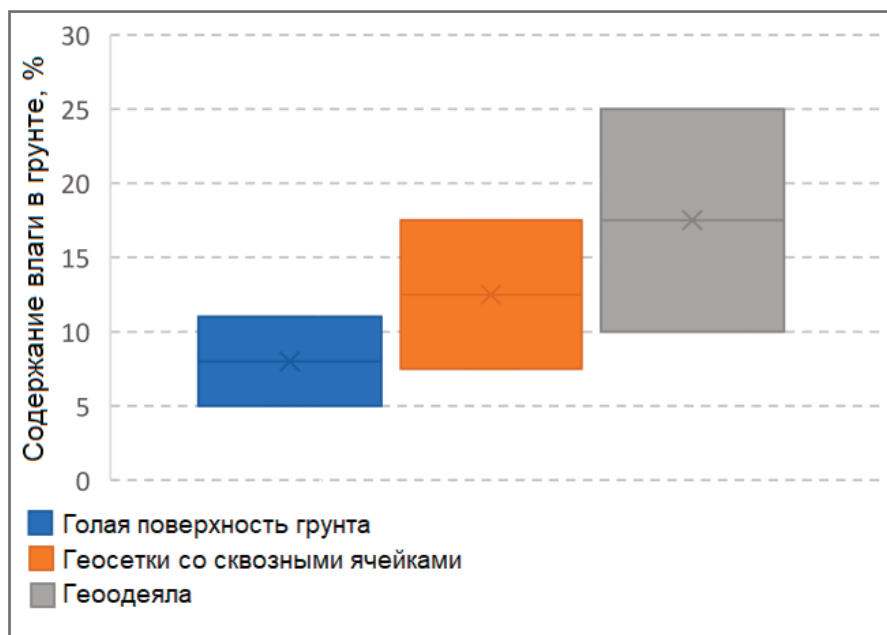


Рис. 2. Влажность незащищенного грунта и грунта под противоэрозионными изделиями (по [16])

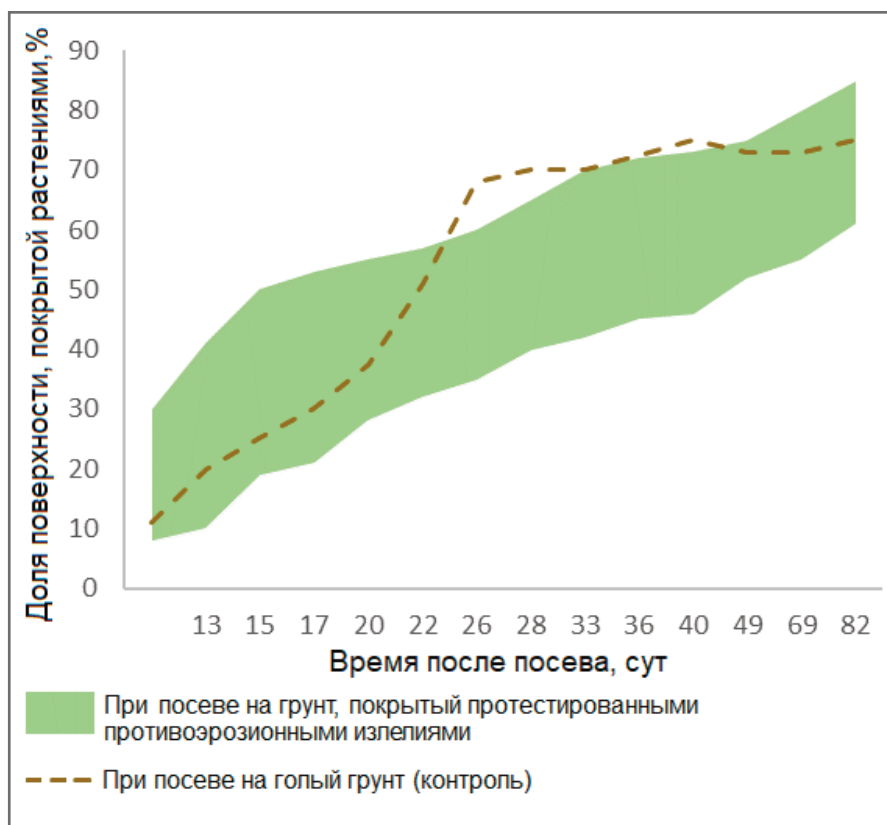


Рис. 3. Средние темпы формирования растительного покрова для протестированных противоэрозионных продуктов и одной из двух смесей семян, протестированных в исследовании [4] (по [4])

Вес, плотность, толщина противоэрозионного изделия и/или мульчи и равномерность покрытия поверхности грунта должны быть сбалансированы так, чтобы предохранить семена от вымывания поверхностным стоком и облегчить их сцепление с грунтом без механического торможения вегетации.

Видовой состав растений, время посева или высадки рассады и климатические условия ▶

Сроки посева или посадки, однородность суточных осадков и характеристики склона или откоса могут иметь большее влияние, чем использование различных противоэрозионных продуктов [5, 33].

Посев смесей семян влияет на успешность вегетации в отношении как окончательного растительного покрова, так и временной динамики его развития. Было замечено, что формирование растительного покрова и динамика его развития во времени могут иметь разные тенденции при сочетании с разными противоэрозионными продуктами [5, 18], а также в зависимости от разных сочетаний видов растений [4].

По наблюдениям Риксона и Лавдея [4], на заключительной стадии формирования растительного покрова нет существенной разницы (рис. 3) между случаями использования противоэрозионных изделий и их отсутствия на поверхности грунта. Аналогичные результаты получили также Альварес-Мозос и др. [18].

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ПРОДУКТОВ И УСПЕХ ВЕГЕТАЦИИ ►

Исследований, посвященных успеху вегетации на поверхностях склонов или откосов, защищенных различными противоэрозионными средствами, было меньше, чем посвященных эффективности защиты от эрозии при использовании разных противоэрозионных изделий [18]. К тому же в большинстве из них рассматривались в основном геосетки и геоодеяла из органического материала и защита склонов (например, [6, 15]). Кроме того, эксперименты проводились в самых разных климатических, грунтовых, морфологических (в отношении крутизны и длины склонов или откосов) условиях и с использованием разных методов, что привело к противоречивым и/или неоднозначным результатам и выводам. Приведем примеры.

1. Джутовые геосетки со сквозными ячейками обычно имеют достаточный размер отверстий, чтобы положительно влиять [23] или почти никак не влиять [5] на успешность вегетации по сравнению с незащищенным грунтом. По наблюдениям Альвареса-Мозоса и др. [18], геосетки со сквозными ячейками способствуют быстрому прорастанию семян при гидропосеве, хотя этот положительный эффект может сохраняться недолго и образовавшийся растительный покров может оказаться даже менее продуктивным, чем на контрольных участках.

2. Геоодеяла, по-видимому, способствуют прилипанию семян к поверхности грунта, что приводит к более равномерно распределенному травяному покрову [5],

но увеличение объема геоодеяла за счет поглощения им воды может уменьшить плотность контакта семян с грунтом [5]. Геоодеяла могут улучшать прорастание семян и способствовать формированию травяного покрова благодаря регулированию температуры и влажности [5], но в некоторых случаях они также могут значительно снижать рост растений по сравнению с другими видами защиты от эрозии или отсутствием защиты [4]. Слишком плотные или толстые геоодеяла могут препятствовать образованию травяного покрова [5], а при разворачивании на склоне или откосе после посева семян они могут плохо пропускать (или даже не пропускать) свет, что приводит к низкой скорости роста травы [45].

3. Экструдированные материалы повышают успешность вегетации из-за их веса и темного цвета [23]. При трехмерной форме поперечные торчащие нити могут помочь проросткам удержаться и уменьшить вымывание семян поверхностным стоком на крутых склонах или откосах [18].

При анализе литературы по почвенно-климатическим условиям и в динамической перспективе становится ясно, что какая-либо одна уникальная особенность противоэрозионного продукта не определяет его влияние на успех вегетации. Укоренение и рост растений, производство биомассы и в целом успешность вегетации регулируются сочетанием характеристик изделия (например, [5, 16, 40]), оказывающим положительное влияние и сводящим к минимуму возможные отрицательные эффекты. Окончательное формирование растительного покрова является результатом сложного совместного воздействия и взаимодействия противоэрозионного продукта, грунтовых и климатических условий, сочетания видов растений и динамики их развития.

Настоящее исследование направлено на то, чтобы сделать шаг вперед в более детальном понимании этого. Кратко описываются и комментируются характеристики противоэрозионных средств, влияющие на факторы успеха вегетации (как было описано ранее), на основе обобщения результатов, представленных в научной литературе. Чтобы обеспечить простую, но вдумчивую оценку влияния противоэрозионных продуктов на успешность вегетации на основе литературных данных, также приводится оценка каждой характеристики в отношении трех классов воздействий на формирование растительного покрова:

1) отрицательных;

2) нейтральных или несущественных;

3) положительных;

Далее будут рассмотрены следующие характеристики противоэрозионных изделий:

1) светопрозрачность / доля общей площади сквозных отверстий;

2) толщина;

3) цвет;

4) водопоглощение;

5) масса на единицу площади поверхности;

6) шероховатость и влияние на поверхностный сток;

7) однородность и сохранение характеристик.

Общая светопрозрачность и размеры сквозных отверстий ►

Общая светопрозрачность (доля общей площади сквозных отверстий) и размеры сквозных отверстий – это характеристики противоэрозионных изделий, которые помимо противоэрозионного влияния на поверхность склона или откоса регулируют прорастание семян, рост растений и формирование растительного покрова.

Основными факторами развития растительного покрова, на которые влияют общая светопрозрачность и размеры сквозных отверстий, являются:

1) альbedo поверхности (а также ее температура),

2) инфильтрация воды в грунт;

3) механические препятствия попаданию семян на грунт и затем появлению всходов растений.

С одной стороны, небольшая доля общей площади сквозных отверстий (большая доля закрытой поверхности грунта) и соответствующее малое проникновение света приводят к большей защите грунта и иногда к высокому мульчирующему действию. С другой стороны – к незначительному или положительному взаимодействию с природными процессами, ответственными за формирование растительного покрова, что является одной из среднесрочных и долгосрочных целей использования этого типа изделий.

Компании, занимающиеся производством противоэрозионных изделий, часто сообщают, что низкая светопрозрачность означает большее защитное и мульчирующее действие, а большая доля незакрытой поверхности грунта и высокая светопрозрачность означают более благоприятные условия для успеха вегетации.

На самом деле один и тот же показатель светопрозрачности может быть

результатом самых разных особенностей продуктов. Например, георешетки и геосетки со сквозными ячейками позволяют потокам света и тепла напрямую попадать на поверхность грунта через отверстия, в то время как нетканые (неплетеные) геоодеяла и геоматы иной раз действуют как щиты. Однако геоодеяла и геоматы имеют разную плотность и разное нерегулярное переплетение волокон, что влияет на количество и интенсивность проникающего через них света.

Кроме того, отверстия в противоэрозионных продуктах могут по-разному влиять на развитие растительного покрова в зависимости от таких характеристик, как толщина, плотность и технологические процессы производства.

Подводя итог, можно выделить следующее:

1) *легкие георешетки и биогеосетки*, обычно имеющие достаточно большие размеры ячеек (1–1,5 см²), оказывают незначительное воздействие на успех вегетации или отрицательное влияние в случае жаркого климата;

2) *геоодеяла*, обычно характеризующиеся малой общей площадью отверстий (обычно показатель светопропускаемости для этих продуктов составляет 5–15%, редко – до 30%), могут оказывать отрицательное или в лучшем случае нейтральное воздействие на успех вегетации;

3) *геоматы*, обычно имеющие небольшие отверстия (например, 0,18 см² [4]), но среднюю светопропускаемость (35–45%), дают положительный эффект.

Толщина ►

Основным эффектом толщины противоэрозионного средства является его изолирующая способность и вследствие этого возможность смягчать экстремальные температуры в той или иной степени (что хорошо известно, например, в сельском хозяйстве для разных видов мульчи и соломы). В сочетании с цветом это особенно важно при использовании противоэрозионных продуктов как при слишком низкой, так и при слишком высокой температуре. Доказано, что с увеличением толщины изделий до некоего предела повышается продуктивность растительного покрова, но избыточная толщина геоодеял и геоматов, особенно в сочетании с низкой светопропускаемостью, может препятствовать прорастанию семян и росту растений [5].

Подводя итог, можно выделить следующее:

1) *легкие георешетки и биогеосетки*, как правило имеющие среднюю толщину

(5–10 мм), в случае ограниченной доли покрытия грунта, по-видимому, почти не смягчают экстремальные температуры и их влияние на рост растений является незначительным;

2) *геоодеяла*, обычно имеющие более существенную толщину (5–15 мм), дают нейтральный или положительный изолирующий эффект, хотя их чрезмерная толщина (особенно в сочетании с высокой плотностью расположения волокон) может оказывать отрицательное воздействие на рост растений;

3) *геоматы*, обычно сочетающие в себе значительную толщину (10–20 мм), среднюю светопропускаемость и низкую плотность, обеспечивают хорошее изолирующее влияние, которое при этом не препятствует росту растений, то есть такие изделия дают положительный эффект.

Цвет ►

Литературные данные по микроклимату и физическим условиям окружающей среды показывают, что темные, богатые органическими веществами грунты (почвы) могут иметь альбедо всего 5%, а сухие (светлые) пустынные – до 45% [35, 46]. Для сравнения: альбедо 24 и 25% – соответственно для трав и пастбищных культур в средних широтах [46]; 22–28% – в среднем для лугов; 20–26% – в среднем для зеленых зерновых культур [47].

Доказано, что темный цвет геосинтетических материалов влияет на температуру покрытого ими грунта. Чем темнее материал, тем больше поглощается солнечной энергии, что повышает температуру противоэрозионного средства и грунта под ним. Таким образом, цвет продукта влияет на прорастание семян и рост растений на ранних стадиях [23], и это необходимо тщательно учитывать в зависимости от местного климата. В тропических регионах и там, где ожидаются большая степень освещенности и высокая температура воздуха, следует избегать использования изделий темных цветов, по крайней мере в качестве поверхностного покрытия (там их можно было бы использовать только в подповерхностных условиях).

Подводя итог, можно выделить следующее:

1) *легкие георешетки* темных цветов дают отрицательный эффект в жарких условиях и положительный – в районах с прохладным климатом; *биогеосетки* светлых окрасок могут играть положительную роль в регулировании температуры, однако достаточно большой раз-

мер их сквозных ячеек обычно делает их эффекты нейтральными;

2) *геоодеяла* светлых или средних тонов могут иметь положительное или нейтральное влияние на температуру грунта;

3) *геоматы* темных тонов не смягчают экстремально высокие температуры (дают отрицательный эффект), а светлых тонов – смягчают (дают положительный эффект).

Водопоглощение ►

Впитывание воды противоэрозионным продуктом в первую очередь зависит от материала, из которого он изготовлен, и во вторую очередь – от технологии его производства. Как правило, изделия из материалов биологического происхождения обладают большей водопоглощающей способностью, чем из синтетических, хотя в случаях трехмерных продуктов из спутанных синтетических волокон можно учитывать некоторое удержание ими воды.

Как правило, водопоглощение противоэрозионного средства помимо уменьшения им поверхностного стока считается положительной характеристикой для скорости прорастания семян, роста, высоты и массы растений [38]. Однако это следует рассматривать с точки зрения всей системы «грунт – климат – противоэрозионное изделие». Ведь не обязательно вода, адсорбированная изделием, будет доступна для грунта под ним. Более того, в случае климата с ограниченным количеством осадков такой продукт может уменьшить содержание воды в грунте, доступное для прорастания семян и формирования растительного покрова. И наконец, адсорбция воды изделием может снизить степень его прилегания к поверхности грунта и, соответственно, уменьшить его защитное действие [5].

Подводя итог, можно выделить следующее:

1) *легкие георешетки*, как правило не обладающие водопоглощающей способностью, являются нейтральными по своему влиянию;

2) *биогеосетки* и *геоодеяла*, как правило обладающие высокими показателями водопоглощения, могут играть положительную роль в регионах с влажным климатом, но отрицательную – в засушливых условиях.

3) *геоматы*, обычно не обладающие водопоглощающей способностью, являются нейтральными по своему влиянию.

Масса ►

Масса противоэрозионного изделия коррелирует с его плотностью и толщиной,

и, как было доказано, влияет на адгезию между семенами и грунтом, увеличивая успех вегетации [5, 23]. Впитывание изделием воды на всю его толщину способствует плотному прилеганию влажного геотекстиля к поверхности грунта, то есть повышает его драпируемость [8].

Подводя итог, можно выделить следующее:

- 1) *легкие георешетки*, обычно имеющие низкую удельную массу на единицу площади (200–500 г/м²) и не обладающие водопоглощающей способностью, по видимому, являются слишком легкими, чтобы хорошо прилегать к грунту, и в этом плане их влияние является отрицательным;
- 2) *биогеосетки*, как правило имеющие низкую или среднюю удельную массу (500–750 г/м²), но много весящие во влажном состоянии, при намокании хорошо прилегают к поверхности грунта и обеспечивают высокую адгезию семян, что дает положительный эффект;
- 3) *геоодеяла*, которые могут иметь среднюю удельную массу (250–500 г/м²), становятся тяжелыми при намокании, поэтому во влажном состоянии хорошо прилегают к поверхности грунта и обеспечивают положительный эффект;
- 4) *геоматы*, имеющие среднюю удельную массу (250–500 г/м²), равномерно распределяются по поверхности грунта и дают нейтральный эффект.

Шероховатость и влияние на поверхностный сток ►

Помимо снижения скорости поверхностного стока высокая степень шероховатости противоэрозионного средства может увеличить попадание воды в него и сквозь него и поспособствовать проникновению воды в грунт. Наоборот, продукты, увеличивающие скорость стока, помимо вымывания грунта ограничивают инфильтрацию и доступность воды для прорастания семян и роста растений, особенно при недостатке атмосферных осадков.

По наблюдениям Альвареса-Мозоса и др. [18], как и авторов выполненных ранее исследований [45, 48–50], противоэрозионные средства из джутового и кокосового волокна дают увеличение поверхностного стока в 2–3 раза по сравнению с травяным покровом. Но такой эффект увеличения связан с углом наклона поверхности (а также с высокой объемной плотностью грунта) – и на более пологих склонах или откосах противоэрозионные средства из органических материалов могут лучше работать с точки зрения успеха вегетации [21].

Подводя итог, можно выделить следующее:

- 1) *легкие георешетки и биогеосетки*, обычно имеющие низкую шероховатость и приводящие к более высоким скоростям и объемам поверхностного стока, оказывают негативное влияние на успех вегетации;
- 2) *геоодеяла*, имеющие низкую долю общей площади сквозных отверстий, облегчают поверхностный сток и негативно влияют на успех вегетации;
- 3) *геоматы*, характеризующиеся высокой степенью шероховатости и низкими коэффициентами стока, дают положительный эффект.

Однородность и сохранение характеристик ►

Пространственная однородность и сохранение характеристик противоэрозионных изделий с течением времени после укладки на склон или откос являются основополагающими для гарантии их эффективности.

Свойства природных материалов могут быть очень изменчивыми в пространстве и во времени и поэтому по-разному влияют на факторы, определяющие успешность вегетации.

Конечно, и синтетические продукты могут характеризоваться изменчивостью характеристик в зависимости от технологий их производства и качества материалов, но все же в гораздо меньшей степени.

В этом отношении можно считать, что противоэрозионные изделия из *природных* материалов дают отрицательные или по крайней мере нейтральные эффекты, тогда как влияние продуктов из *синтетических* материалов можно считать нейтральным или положительным.

ОБОБЩЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ, ОЖИДАЕМАЯ ДЛЯ РАЗНЫХ КАТЕГОРИЙ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ►

На основе предыдущего анализа можно сделать вывод, что взаимодействующими характеристиками идеальных противоэрозионных изделий с точки зрения успеха вегетации являются:

- 1) достаточная толщина для изоляции грунта и сглаживания экстремальных значений температуры;
- 2) беспорядочно рассеянные сквозные отверстия для обеспечения средней светопрозрачности, инфильтрации, препятствования излишнему стоку и обес-

печения соответствующей защиты грунта от эрозии;

- 3) равномерно распределенный вес для хорошего прилегания к поверхности грунта;
- 4) низкая водопоглощающая способность и в то же время способность удерживать влагу в переплетениях волокон изделия;
- 5) однородное распределение характеристик;
- 6) разные цвета, подходящие для разных климатических условий.

Количественно и качественно оценить эффективность противоэрозионных изделий, зависящую от комплекса разных процессов и взаимодействий различных неоднородных факторов, довольно сложно. Однако в целях сравнений в самых разных областях исследований широко используются лепестковые диаграммы (например, [51–54]).

Лепестковая диаграмма имеет несколько радиальных осей, начинающихся в одной центральной точке. Величина каждого показателя откладывается на соответствующей оси. Точки, соответствующие величинам разных показателей, по сегментно соединяются друг с другом, образуя замкнутый многоугольник, который и является лепестковой диаграммой для объекта оценки. Чем ближе отложенное значение показателя к центру, тем оно меньше, поэтому общая форма такой диаграммы визуально отражает эффективность работы изделия на качественном уровне. Для количественного анализа можно вычислить вектор площади лепестковой диаграммы. В любом случае, чем больше ее площадь, тем выше эффективность изделия, и наоборот.

Таким путем можно графически представить ожидаемые обобщенные характеристики для разных категорий противоэрозионных продуктов (легких георешеток, биогеосеток, геоодеял, геоматов). Эффективность работы каждой категории отражается на лепестковой диаграмме через ее площадь, при этом четко видно влияние на общую эффективность со стороны каждой характеристики (рис. 4, 5).

ОЖИДАЕМАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОМАТОВ «МакМат» В ОТНОШЕНИИ УСПЕХА ВЕГЕТАЦИИ ►

Характеристики геоматов «МакМат» (MacMat) (таблица 2), производимых компанией «Маккаферри» (Maccaferri), в основном типичны для геоматов, но имеют некоторые отличия. Они в

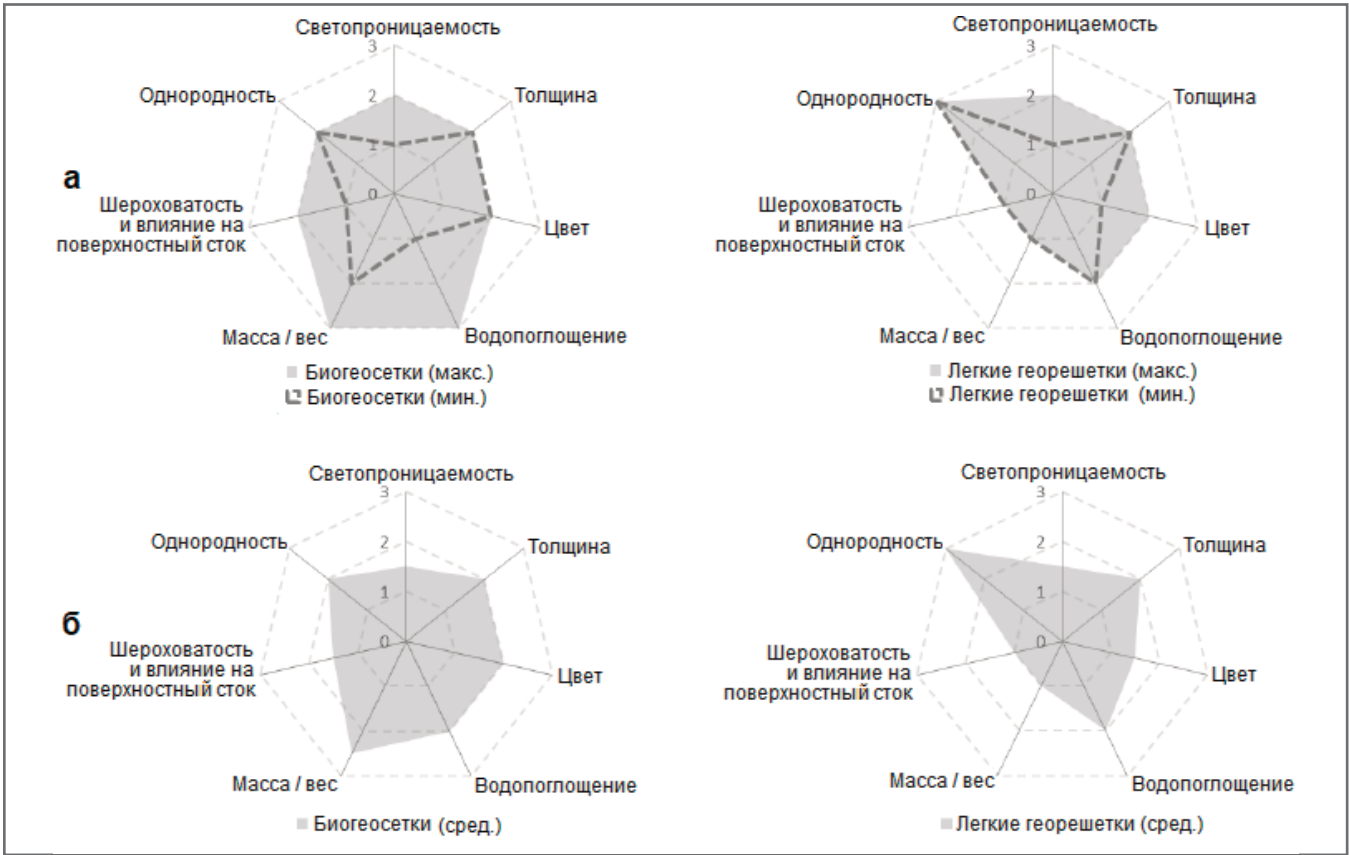


Рис. 4. Обобщенная эффективность работы противоэрозионных изделий со сквозными отверстиями (легких георешеток и биогеосеток) из природных и синтетических материалов; а – минимальные и максимальные значения характеристик; б – средние значения характеристик. Биогеосетки демонстрируют более высокую изменчивость своих характеристик по сравнению с легкими георешетками, но более хорошую общую эффективность

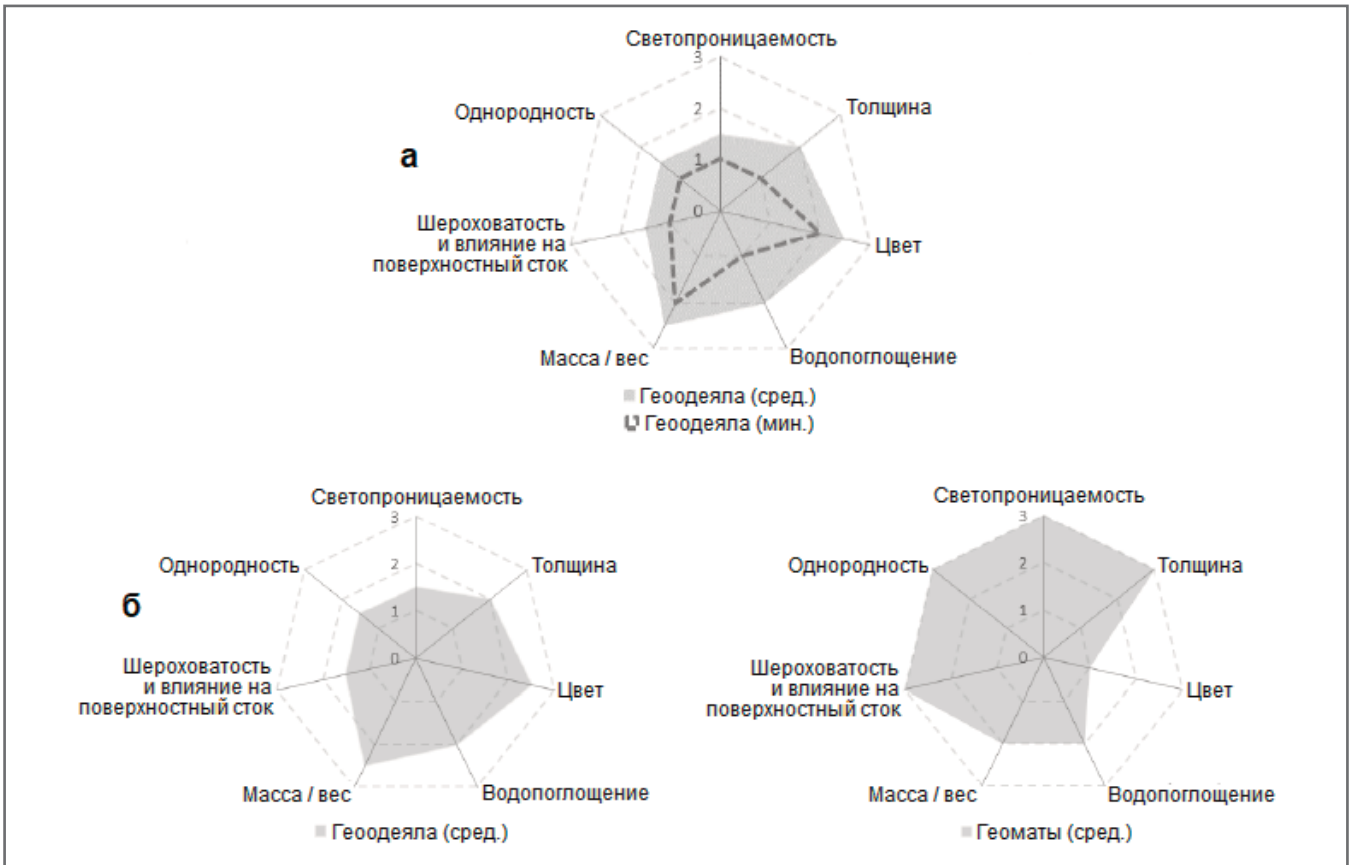


Рис. 5. Обобщенная эффективность работы противоэрозионных изделий (легких геоодеял и геоматов); а – минимальные и средние значения характеристик; б – средние значения характеристик. Геоматы не проявляют изменчивости характеристик, поэтому показана лепестковая диаграмма только для средних значений

Таблица 2. Характеристики геоматов «МакМат», важные для успеха вегетации

Версия (версии) геомата «МакМат»	Характеристика		
	Светопроницаемость, %	Толщина, мм	Удельная масса, г/м ²
R1 005 – R1 020	35–45	15±2	650±100
R1 035	35–45	15±2	680±100
R1 055	35–45	15±2	700±100
R1 060S	20–30	15±2	790±50
R1 080	35–45	15±2	790±50
R1 110	20–30	15±2	820±50
R1 200	20–30	15±2	1000±50
R1 6822G0	35–45	16±4	1920±192
R1 6822GN	35–45	16±4	1630±163
R1 6822GN – R1 8127GN	35–45	16±4	2130±213

целом положительно влияют на большинство факторов, определяющих успешность вегетации на покрытых ими поверхностях грунта. В этом отношении продукты «МакМат» можно разделить на две основные категории в зависимости от армирующей основы, на которую в процессе производства экструдированная полимерная матрица из переплетенных синтетических волокон. Такой основой может быть:

- 1) плетеная георешетка из полиэфирных нитей;
- 2) плетеная сетка двойного кручения из стальной проволоки.

Разница в основном заключается в разной удельной массе геоматов на основе этих двух типов армирующих основ, которая в первом случае соответствует большинству геоматов (500–1000 г/м²), а во втором она вдвое больше (1600–2100 г/м²).

Хаотично переплетенные синтетические волокна геомата «МакМат» образуют трехмерный сильно деформируемый упругий слой с очень высоким показателем пустотности, типичным для геоматов (пустоты занимают в среднем более 90%, рис. 6. – *Ред.*). Это обеспечивает хорошую комбинацию характеристик, которая удовлетворяет большинству факторов, имеющих решающее значение для прорастания семян, роста



Рис. 6. Внешний вид геомата «МакМат». Рисунок добавлен редактором (источник фото: massafertti.com/ru/продукты/макмат/)

растений и успешного образования растительного покрова.

Спутанные синтетические нити обеспечивают хорошую светопроницаемость (35–45% для большинства версий геоматов «МакМат»; минимум – 20–30%). Толщина этих изделий (15–16 мм) обеспечивает равномерное покрытие поверхности, что способствует смягчению перепадов температур, но не препятствует инфильтрации воды и росту растений.

Геосетки по сравнению с геоматами «МакМат» имеют сходную или более высокую светопроницаемость, но более широкие сквозные отверстия (ячейки) с ограниченной возможностью смягчать экстремальные температуры. Геоодеяла, напротив, имеют более низкую светопроницаемость (в основном примерно в 2 раза ниже по сравнению с «МакМат», в лучшем случае их светопроницаемость составляет 20%), и они обычно примерно в 2 раза тоньше, поэтому их потенциал

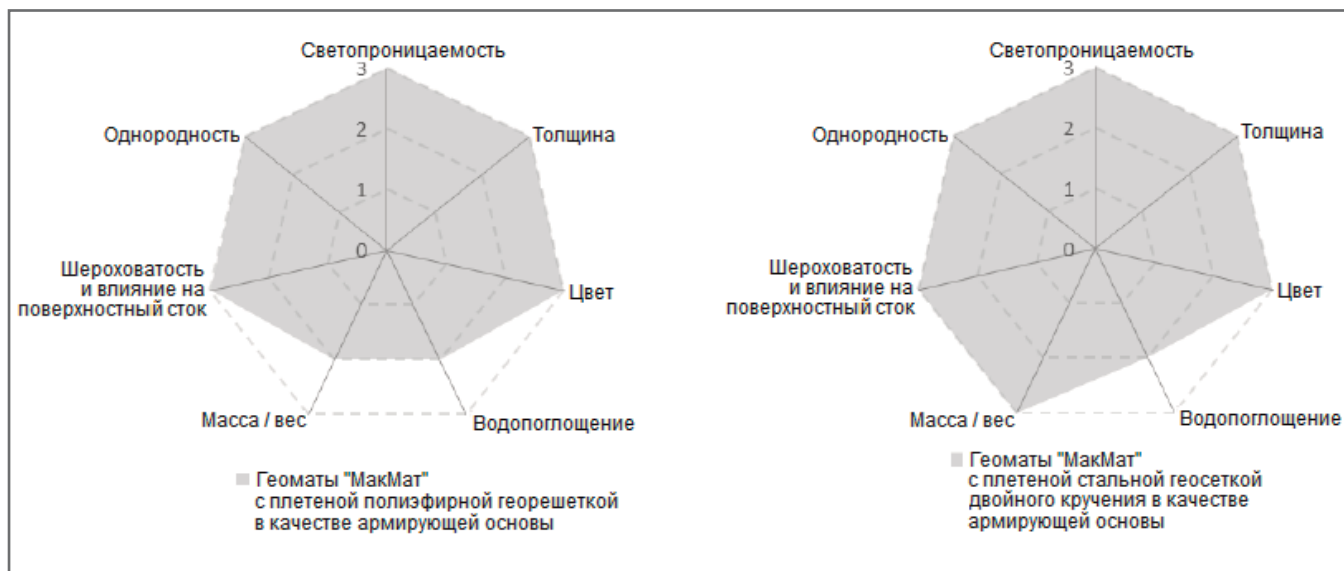


Рис. 7. Лепестковые диаграммы для сравнения характеристик и эффективности геоматов «МакМат» с разной армирующей основой

в отношении смягчения экстремальных температур меньше.

Пространственная однородность и вес геоматов «МакМат», сходный с весом геодеял сопоставимой толщины, способствуют сцеплению семян с грунтом и формированию растительного покрова без механических препятствий.

Синтетическая природа геоматов «МакМат» делает их воздействие нейтральным в отношении влагоудерживающей способности самого материала и потенциальной конкуренции с грунтом

за содержание воды. А высокая шероховатость этих изделий может снизить поверхностный сток и увеличить попадание воды сквозь них в грунт.

Кроме того, случайный характер переплетения волокон является препятствием для возможного вымывания семян поверхностным стоком (или выдувания ветром. – *Ред.*). Синтетический материал гарантирует однородность изделий, сохранение их свойств во времени и, наконец, возможность выбора цвета. Эффективность геоматов «МакМат» с точки зрения

потенциального воздействия на факторы успеха вегетации отражена на рисунке 7.

(Геоматы «МакМат» используют как долгосрочную эффективную защиту склонов и откосов от эрозии, вызванной поверхностными стоками, водами ручьев или рек, сильными ветрами как во влажных, так и в сухих условиях. При этом на поверхности, покрытой таким геоматом, вскоре успешно образуется устойчивый растительный покров, который не только хорошо выглядит, но и является дополнительной защитой от эрозии. .h

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES) ►

1. Bischetti G.B. Relationships between Erosion Control Products and vegetation growth: research report. Milan, Italy: Department of agricultural and environmental sciences – production, territory, agro-energy, University of Milan, July 2021. 16 p.
2. Rickson R.J., Morgan R.P.C. Approaches to modelling the effect of vegetation on soil erosion by water // Erosion Assessment and Modelling (eds.: R.P.C. Morgan, R.J. Rickson). Commission of the European Communities, 1988.
3. Godfrey S.H., Landphair H.C., Long J.P., McFalls J.A. The performance of flexible erosion control materials: research report 1914-1. Austin, TX, USA: Texas Department of Transportation, Construction and Maintenance Division, 1993.
4. Rickson R.J., Loveday A.D. Can erosion control blankets (geotextiles) aid vegetation establishment in mine restoration? // Proceedings of the 7th International Conference on Mine Closure (eds.: A.B. Fourie, M. Tibbett). Perth, Australia: Australian Centre for Geomechanics, 2012. P. 481–492, URL: doi.org/10.36487/ACG_rep/1208_42_Rickson.
5. Krenitsky E.C., Carroll M.J. Use of erosion control materials to establish turf // Proceedings of the 25th IECA Annual Conference “Sustaining Environmental Quality: the Erosion Control Challenge”, Nevada, USA, 1994. P. 81–90.
6. Bhattacharyya R., Smets T., Fullen M.A., Poesen J., Booth C.A. Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss – a synthesis // Catena. 2010. Vol. 81. P. 184–195.
7. ASTM D7322/D7322M. Standard Test Method for Determination of Erosion Control Product (ECP) Ability to Encourage Seed Germination and Plant Growth Under Bench-Scale Conditions, July 15, 2017.
8. Mitchell D.J., Barton A.P., Fullen M.A., Hocking T.J., Zhi W.B., Yi Z. Field studies of the effects of jute geotextiles on runoff and erosion in Shropshire, UK // Soil Use and Management. 2003. Vol. 19. P. 182–184.
9. Li M.H., Khanna S. Aging of rolled erosion control products for channel erosion control // Geosynthetics International. 2008. Vol. 15. P. 224–231.
10. Chen S.C., Chang K.T., Wang S.H., Lin J.Y. The efficiency of artificial materials used for erosion control on steep slopes // Environmental Earth Sciences. 2011. Vol. 62. P. 197–206.

11. Vishnudas S., Savenije H.H.G., Van der Zaagt P., Anil K.R., Balan K. The protective and attractive covering of a vegetated embankment using coir geotextiles // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2006. Vol. 10. P. 565–574.
12. Fullen M.A., Subedi M., Booth C.A., et al. Utilizing biological geotextiles: introduction to the Borassus Project and global perspectives // *Land Degradation & Development*. 2011. Vol. 22. P. 453–462.
13. Ziegler A.D., Sutherland R.A., Tran L.T. Influence of rolled erosion control systems on temporal rainsplash response – a laboratory rainfall simulation experiment // *Land Degradation & Development*. 1997. Vol. 8. P. 139–157.
14. Ziegler A.D., Sutherland R.A. Reduction in interrill sediment transport by rolled erosion control systems // *Soil & Tillage Research*. 1997. Vol. 45. P. 265–278.
15. Sutherland R.A. Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years // *Land Degradation & Development*. 1998. Vol. 9. P. 465–486.
16. Sutherland R.A. Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. II. The post-1990 period // *Land Degradation & Development*. 1998. Vol. 9. P. 487–511.
17. Bhattacharyya R., Fullen M.A., Booth C.A., et al. Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments // *Land Degradation & Development*. 2011. Vol. 22. P. 495–504.
18. Alvarez-Mozos J., Abad E., Goni M., et al. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2. Influence on the establishment and growth of vegetation // *Catena*. 2014. Vol. 121. P. 195–203.
19. Sutherland R.A. A critical assessment of the research conducted at the hydraulics and erosion control laboratory – a focus on rolled erosion control systems applied to hillslopes // *Geotextiles & Geomembranes*. 1998. Vol. 16. P. 87–118.
20. Rickson R.J. The use of geotextiles for vegetation management // *Aspects of Applied Biology*. 2000. Vol. 58. P. 107–114.
21. Bhattacharyya R., Zheng Y., Li Y., et al. Effects of biological geotextiles on aboveground biomass production in selected agro-ecosystems // *Field Crops Research*. 2012. Vol. 126. P. 3–36.
22. Allison F.E. Soil organic matter and its role in crop production // *Developments in Soil Science*. 1973. Vol. 25. P. 500–518.
23. Reynolds K.C. Synthetic meshes for soil conservation use on black earths // *Soil Conservation Journal of NSW*. 1976. Vol. 34. P. 145–160.
24. Sutherland R.A., Menard T., Perry J.L., Penn D.C. The influence of rolled erosion control systems on soil temperature and surface albedo. Part 1. A greenhouse experiment // *Land Degradation & Development*. 1998. Vol. 9. P. 159–178.
25. Castree N., Goodchild M.F., Kobayashi A., Liu W., Marston R.A. *International Encyclopedia of Geography*. John Wiley & Sons, 2017.
26. Barkley D.G., Blaser R.E., Schmidt R.E. Effect of mulches on microclimate and turf establishment // *Agronomy Journal*. 1965. Vol. 57. P. 189–192.
27. Hale M.G., Orcutt D.M. *The Physiology of Plants Under Stress*. New York: Wiley, 1987.
28. Gupta S.C., Radke J.K., Larson W.E. Predicting temperatures of bare and residue covered soils with and without a corn crop // *Soil Science Society of America Journal*. 1981. Vol. 45. P. 405–412.
29. Maurya P.R., Lal R. Effects of different mulch materials on soil properties and on the root growth and yield of maize (*Zea mays*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) // *Field Crops Research*. 1981. Vol. 4. P. 33–45.
30. Midmore D.J., Berrios D., Roca J. Potato (*Solanum spp.*) in the hot tropics. II. Soil temperature and moisture modification by mulch in contrasting environments // *Field Crops Research*. 1986. Vol. 15. P. 97–108.
31. Dudeck A.E., Swanson N.P., Mielke L.N., Dedrick A.R. Mulches for grass establishment on hill slopes // *Agronomy Journal*. 1970. Vol. 62. P. 810–812.
32. Mapa R.B. Coconut fibre: a biodegradable soil erosion control // *Biological Agriculture and Horticulture*. 1996. Vol. 13. P. 149–160.
33. Fifield J.S., Malnor L.K. Erosion control materials vs. a semiarid environment, what has been learned from three years of testing? // *Proceedings of the 21st IECA Annual Conference “Erosion Control: Technology in Transition”, Washington, USA, 1990*. P. 235–248.
34. Unger P.W., Parker J.J. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residues // *Soil Science Society of America Journal*. 1976. Vol. 40. P. 938–942.
35. Oke T.R. *Boundary Layer Climates*, London, UK: Methuen, 1978.
36. Kertesz A., Szalai Z., Jakab G., et al. Biological geotextiles as a tool for soil moisture conservation // *Land Degradation & Development*. 2011. Vol. 22. P. 472–479.
37. Scruby M. The effect of fertiliser, jute netting and stone scatter on grass seed germination along eroded footpaths in the Brecon Beacons: M.Sc. thesis. Silsoe, UK: Silsoe College, Cranfield University, 1991.
38. Urroz G.E., Israelsen C.E. Effectiveness of selected materials under simulated rain and sunlight // *Proceedings of the 26th IECA Annual Conference “Carrying the Torch for Erosion Control: an Olympic Task”, Atlanta, USA, 1995*. P. 361–370.
39. Moreau C. Effect of linseed fibre geotextiles on soil temperature, soil moisture content and seed germination: M.Sc. thesis. Silsoe, UK: Silsoe College, Cranfield University, 1994.
40. Vaidya T.N. Effect of Geotextiles on Plant Emergence: M.Sc. thesis. Silsoe, UK: Faculty of Agricultural Engineering, Food Production, and Rural Land Use, Cranfield Institute of Technology, 1988

41. Raats P.A.C. Kinematics and dynamics of seedling emergence // Proceedings of the Symposium "Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting", University of Ghent, Ghent, Belgium, 1985. P. 252–261.
42. Sharp R.E., Davies W.J. Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water // Plants Under Stress: Biochemistry, Physiology and Ecology and their Application to Plant Improvement. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. P. 71–93.
43. Morgan R.P.C. Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing UK Ltd, 2005.
44. Pillai M.S. Protection of the side slopes of the Kabini canal // Proceedings of the 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 1994.
45. Jankauskas B., Jankauskiene G., Fullen M.A., Booth C.A. The effects of biogeotextiles on the stabilization of roadside slopes in Lithuania // Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2008. Vol. 3. P. 175–180.
46. Monteith J.L. Principles of Environmental Physics. London, UK: Arnold, 1973.
47. Marshall T.J., Holmes J.W. Soil Physics. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988.
48. Bhattacharyya R., Fullen M.A., Booth C.A. Using palm-mat geotextiles on an arable soil for water erosion control in the UK // Earth Surface Processes and Landforms. 2011. Vol. 36. P. 933–945.
49. Davies K., Fullen M.A., Booth C.A. A pilot project on the potential contribution of palm-mat geotextiles to soil conservation // Earth Surface Processes and Landforms. 2006. Vol. 31. P. 561–569.
50. Smets T., Poesen J., Fullen M.A., Booth C.A. Effectiveness of palm and simulated geotextiles in reducing run-off and inter-rill erosion on medium and steep slopes // Soil Use and Management. 2007. Vol. 23. P. 306–316.
51. Perez Benedito M.A. The analysis of behavior of switzerland company by methodology of radar chart // European Journal of Business and Social Sciences. 2014. Vol. 3. № 6. P. 136–155. URL: ejbss.com/recent.aspx.
52. Cook D., Saviolidis N.M., Davidsdottir B., Johannsdottir L., Olafsson S. Measuring countries' environmental sustainability performance – the development of a nation-specific indicator set // Ecological Indicators. 2017. Vol. 74. P. 463–478. URL: doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.009.
53. Zhang G., Hui G., Zhang G., Hu Y., Zhao Z. A novel comprehensive evaluation method of forest state based on unit circle // Forests. 2019. Vol. 10. № 5. URL: doi.org/10.3390/f10010005.
54. Caporaso T., Grazioso S., Di Gironimo G., Lanzotti A. Biomechanical indices represented on radar chart for assessment of performance and infringements in elite race-walkers // Sports Engineering. 2020. Vol. 23. № 4. URL: doi.org/10.1007/s12283-019-0317-2.

Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо 

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



<https://t.me/geoinfonews>