

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E02D 3/12 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019138772, 29.11.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.11.2019Дата регистрации:
24.09.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.11.2019

(45) Опубликовано: 24.09.2020 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

101000, Москва, ул. Покровский бульвар, 11,
НИУ ВШЭ, Отдел правового сопровождения
научной деятельности вопросов
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Будникова Анна Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

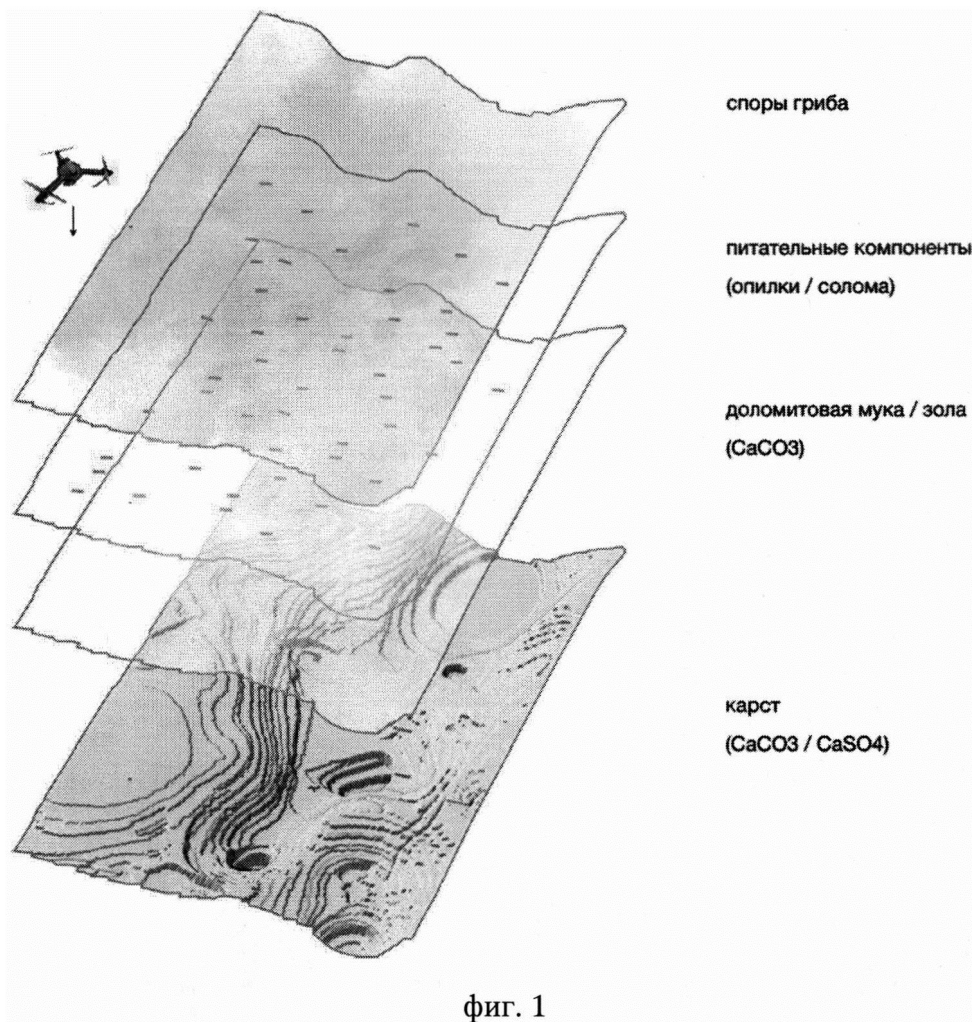
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский университет "Высшая
школа экономики" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2410492 C1, 27.01.2011. RU
2543162 C1, 27.02.2015. SU 894066 A2, 30.12.1981.
SU 77971 A1, 31.12.1949. SU 947442 A1,
30.07.1982. US 9951307 B2, 24.04.2018.

(54) Способ укрепления стенок карстовой воронки

(57) Реферат:

Изобретение относится к области геоморфологии и может быть использовано для укрепления стенок карстовых воронок, а на длительном промежутке времени при полном заполнении полости карстовой воронки минеральной грибной породой для ликвидации карстовых воронок. Способ укрепления стенок карстовой воронки с использованием спор гриба заключается в том, что наносят на открытую поверхность карстовой воронки по меньшей мере один слой субстрата, включающего смесь из доломитовой муки, опилок, глины и мха. Распыляют споры гриба на поверхность

субстрата в концентрации от 0,15 кг/м² до 0,30 кг/м² и поддерживают влажность субстрата на уровне 10-20% до момента первичного осаждения кальция спорами. Технический результат состоит в обеспечении укрепления стенок карстовой воронки для предотвращения ее дальнейшего расширения и обвала, а на длительном промежутке времени при полном заполнении полости карстовой воронки минеральной грибной породой - ликвидации карстовой воронки, в расширении арсенала технических средств для укрепления стенок карстовой воронки. 4 з.п. ф-лы, 3 ил.



RU 2 7 3 2 8 7 4 C 1

RU 2 7 3 2 8 7 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
E02D 3/12 (2020.02)

(21)(22) Application: **2019138772, 29.11.2019**

(24) Effective date for property rights:
29.11.2019

Registration date:
24.09.2020

Priority:

(22) Date of filing: **29.11.2019**

(45) Date of publication: **24.09.2020** Bull. № 27

Mail address:

**101000, Moskva, ul. Pokrovskij bulvar, 11, NIU
VSHE, Otdel pravovogo soprovozhdeniya
nauchnoj deyatel'nosti voprosov intellektualnoj
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

Budnikova Anna Aleksandrovna (RU)

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij
universitet "Vysshaya shkola ekonomiki" (RU)**

(54) **METHOD OF KARST FUNNEL WALLS REINFORCEMENT**

(57) Abstract:

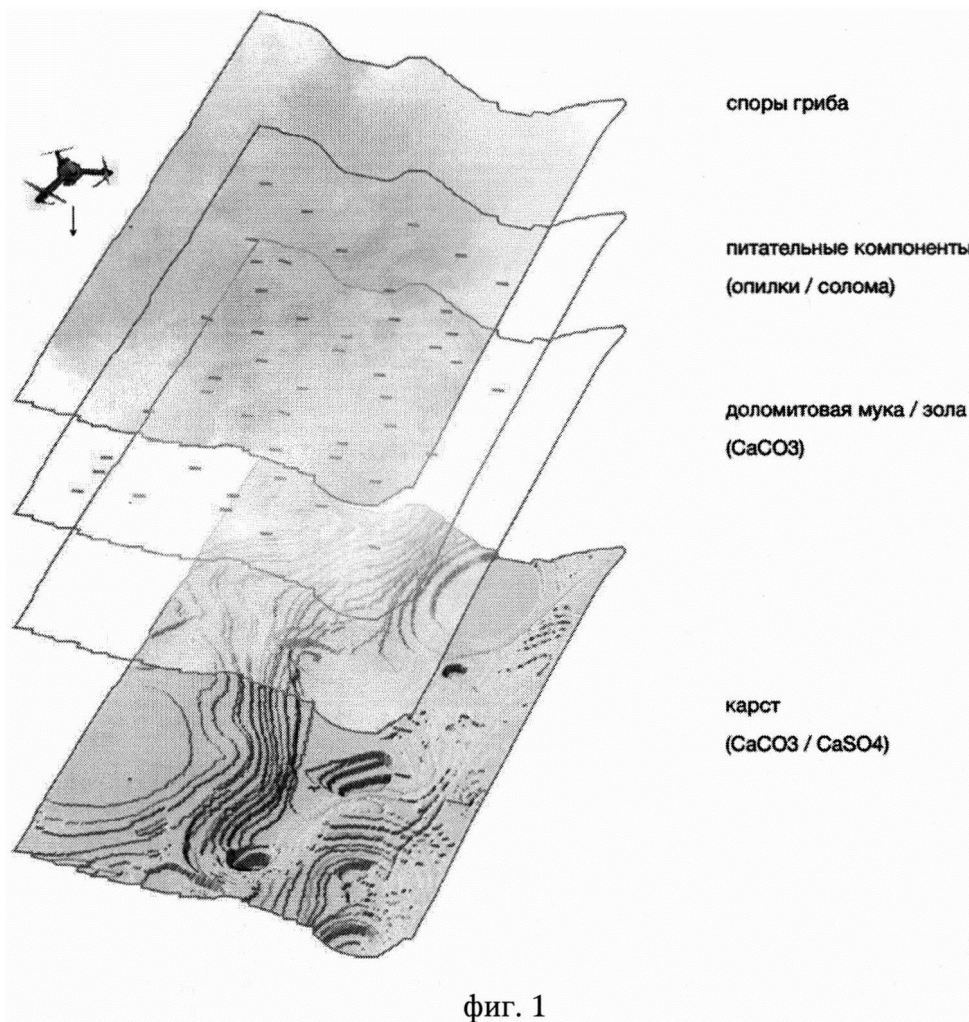
FIELD: geomorphology.

SUBSTANCE: invention relates to geomorphology and can be used for reinforcement of walls of karst funnels, and for a long period of time with complete filling of cavity of karstic funnel with mineral mushroom rock for elimination of karst funnels. Method of reinforcing walls of karst funnel using fungus spores involves applying at least one layer of substrate on open surface of karst funnel, including mixture of dolomite flour, shavings, clay and moss. Spores of the fungus are sprayed on the surface of the substrate at concentration of 0.15 kg/m² to 0.30 kg/m² and the

substrate moisture content is maintained at level of 10–20 % until the primary deposition of calcium by spores.

EFFECT: technical result consists in providing reinforcement of karstic funnel walls to prevent its further expansion and collapse, and for a long period of time with complete filling of the cavity of the karst funnel with mineral mushroom rock - elimination of the karstic funnel, in the range of equipment for reinforcement of karst wall funnels.

5 cl, 3 dwg



RU 2 7 3 2 8 7 4 C 1

RU 2 7 3 2 8 7 4 C 1

Изобретение относится к области геоморфологии и может быть использовано для укрепления стенок карстовых воронок, а на длительном промежутке времени при полном заполнении полости карстовой воронки минеральной грибной породой для ликвидации карстовых воронок.

5 Карстовые воронки - уникальное природное явление, образующееся в результате растворения мягких пород грунта подземными водами и, как следствие, обрушения ландшафта. Однако, сегодня карстовые явления в городах ассоциируются с обвалами дорог, разрушением домов и гибелью целых поселений. Российские города, такие как Березники и Соликамск, страдают от ежегодных провалов грунта, что вызвано, в
10 большей степени, не характеристиками почвы, а антропогенным воздействием, в частности, активной добычей полезных ископаемых.

Грунты, подверженные карстовым явлениям, также ненадежны для любого вида инженерных сооружений, т.к. несущая способность грунтов у границ карстовых образований снижается в связи с разуплотнением грунта вокруг последних и ростом
15 давления в основании при перераспределении нагрузки на грунты от зданий и сооружений.

Известен способ, заключающийся в создании фундамента в виде свайного поля, замедляющего рост карстовой воронки (одного из видов карстового образования) в случае ее возникновения. Расстояние между сваями не должно быть более 1/3-1/5
20 диаметра прогнозируемой воронки, а их длина должна превышать возможную глубину провала на 0,5-0,7 м. Устойчивость сооружения может обеспечиваться увеличением опорной поверхности фундамента путем устройства резервного числа элементов опирания консольного типа. (Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты. - М.: Издательство
25 АСВ, 1994, с. 446-447, рис. 16.6, 16.7)

Основным недостатком способа является невозможность повышения прочности грунтов основания, т.к. наличие свай в свайном поле не устраняет возможность задаваемого рассредоточения свай в свайном поле, и их длина не учитывает
30 неоднородность грунтов основания и их реальную распределительную способность.

Кроме того, указанный способ предназначен только для работы на грунтах с прогнозируемыми карстовыми явлениями и не учитывает разнообразия типов карста (по литологии карстующихся пород, глубине их залегания, составу покровной толщи и т.д.), не учитывает механизмы образования карстов и не изменяет условия и
35 характеристики грунта, способствующие продолжению процессов карстообразования.

Известна технология получения самовосстанавливающегося бетона, которая восстанавливает трещины с помощью спор гриба *Trichoderma reesei*. Споры *Trichoderma reesei* смешивается с бетоном и находятся там абсолютно в бездействии, пока не появится первая трещина в недавно уложенном бетоне. Поскольку вода и кислород проникают в трещину, грибковые споры будут прорастать, расширяться и создавать карбонат
40 кальция для заполнения трещины. Грибная составляющая действует как герметик при смешивании с бетоном. Информация о технологии упоминается в статье «Взаимодействие грибов с бетоном: большое значение для самоизлечивающегося бетона на биологической основе» / «Interactions of fungi with concrete: Significant importance for bio-based self-healing concrete» авторов Конгруй Джин (Congrui Jin) др., опубликованной
45 в журнале «Строительство и строительные материалы» (Construction and Building Materials). (<https://www.facepla.net/the-news/5758-укрепление-бетона.html>).

Недостатками известной технологии являются крайне низкая жизнеспособность спор гриба в экстремальных условиях бетона, невозможность его практического

применения с целью ликвидации карстовых воронок.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению является способ выращивания строительного материала в форме формовочной подложки, которая может быть разработана для широкого спектра производственных и строительных применений. Известный способ включает стадии получения среды на основе лигноцеллюлозы, способной поддерживать рост сапрофитных грибов; смешивание среды на основе лигноцеллюлозы с водой для достижения уровня гидратации; инокуляцию среды на основе лигноцеллюлозы инокулятом грибов; предоставление времени для того, чтобы инокулированная среда на основе лигноцеллюлозы стала колонизированной до такой степени, что инокулированная среда на основе лигноцеллюлозы превращается в грибковый мицелий; регулирование условий среды, окружающей среду на основе лигноцеллюлозы, во время стадии инокуляции и стадии развития грибкового мицелия; прессование и высушивание колонизированного грибковым мицелием субстрата в течение определенного периода времени, с целью получения твердого строительного материала органического происхождения для широкого спектра производственных и строительных применений. (Патент США №9951307, МПК C12N1/14, C12N 1/22, опубл. 24.04.2018).

Основным недостатком способа является невозможность его практического применения с целью ликвидации карстовых воронок ввиду необходимости укрепления полученного строительного материала слоями структурной арматуры для удержания кладки, что невозможно в условиях неоднородности и невозможности прогнозирования движения карстового грунта.

Кроме того, указанный способ раскрывает только процесс для формирования отдельных строительных блоков без указания конкретного назначения их применения. Техническая задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, состоит в создании нового способа укрепления стенок карстовой воронки для предотвращения ее дальнейшего расширения и обвала.

Поставленная техническая задача решается тем, что способ укрепления стенок карстовой воронки с использованием спор гриба, согласно заявляемому изобретению, заключается в том, что наносят на открытую поверхность карстовой воронки, по меньшей мере один слой субстрата, включающего смесь из доломитовой муки, опилок, глины и мха, распыляют споры гриба на поверхность субстрата в концентрации от 0,15 кг/м² до 0,30 кг/м² и поддерживают влажность субстрата на уровне 10-20% до момента первичного осаждения калция спорами.

Кроме того, используют споры гриба, выбранные из группы: споры гриба триходерма (*Trichoderma*), споры гриба сморчка (*Morchella esculenta*).

Кроме того, смесь доломита, опилок, глины и мха включает компоненты в следующем соотношении: 6 частей доломитовой муки, от 1 до 3 частей опилок, от 0 до 2 частей глины, от 1 до 3 частей мха.

Кроме того, субстрат дополнительно включает от 1 до 3 частей золы.

Кроме того, нанесение на поверхность карстовой воронки, по меньшей мере, одного слоя субстрата осуществляют при помощи дистанционно управляемых технических средств.

Технический результат, достижение которого обеспечивается реализацией всей совокупности признаков заявляемого способа, заключается в расширении арсенала технических средств для укрепления стенок карстовой воронки.

Сущность изобретения поясняется рисунками, где на фиг. 1 представлена схема реализации способа;

на фиг. 2 показана схема процесса роста спор от распыления до роста мицелия, где
 1-й день - распыление спор, например дроном, по поверхности карста;
 7-й день - расширение спор в карсте, начало кальцификации;
 21-й день - рост мицелия, кальцификация;

40-й день - появление системы мицелия, производство известняка.

на фиг. 3 приведены фото модулей микрокарт в процессе кальцификации в карсте на основе спор, полученные в ходе проведения экспериментальных исследований, на 1-й, 21-й, 40 день эксперимента.

Биотехнологии на данный момент представляют собой один из самых инновационных подходов в укреплении почвы и скреплении сыпучих материалов. В настоящее время микробиологические методы широко используются при цементации, обводнении и обезвоживании, создании искусственных геохимических барьеров (Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды: учеб. пособие. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2011. 248 с: ил.). Также доказано, что почвенные грибы способствуют кальцификации: грибной мицелий сморчка или триходермы способен к образованию карбонатных конкрементов с плотной микроструктурой на органической основе с песком и молотым известняком.

Настоящее изобретение предлагает технологию укрепления стенок карстовых воронок спорами гриба. Процесс осаждения кальция микроорганизмами под воздействием влажности и, как следствие образование известняка, может рассматриваться в отношении 'непрограммируемых' карстовых процессов, постоянно находящихся под воздействием воды. Эта технология не требует вмешательства человека, когда повреждение происходит как в архитектурной стене, так и в стене воронки. Стоит отметить, что карстовые почвы имеют тот же карбонатный состав (CaCO_3), который споры образуют, реагируя с кальцитом и водой.

Заявляемый способ укрепления стенок карстовой воронки с использованием спор гриба осуществляется следующим образом.

На открытую поверхность карстовой воронки (фиг. 1) наносят, по меньшей мере один слой субстрата, включающего смесь из доломита, опилок, глины и мха. Смесь доломита, опилок, глины и мха включает компоненты в следующем соотношении: 6 частей доломита, от 1 до 3 частей опилок, от 0 до 2 частей глины, от 1 до 3 частей мха. 4. Субстрат может дополнительно включать от 1 до 3 частей золы.

Предложенное соотношение компонентов смеси получено авторами экспериментальным путем и является оптимальным для решения поставленной задачи и достижения заявленного технического результата.

Нанесение на поверхность карстовой воронки, по меньшей мере, одного слоя субстрата может быть произведено при помощи дистанционно управляемых технических средств, например, при помощи квадрокоптера/дрона.

Споры гриба распыляют на поверхность субстрата в концентрации от $0,15 \text{ кг/м}^2$ до $0,30 \text{ кг/м}^2$ и поддерживают влажность субстрата на уровне 10-20% до момента первичного осаждения кальция спорами. (фиг. 2)

По результатам экспериментальных исследований развитие спор в мицелий и плодовое тело и первичное осаждение кальция спорами можно определить визуально без использования специальных средств через 21 день, до истечения этого времени необходимо использовать дополнительные средства - лакмусовую бумагу, для контроля щелочного (pH) состава почвы.

Заявляемый интервал концентрации был также получен в результате исследований

и является оптимальным. За границей меньшего значения интервала концентраций 0,15 кг/м² не достигается заявленный технический результат, так как данного количества будет не достаточно для образования в финале прочного покрытия стенки. Использовать для нанесения на поверхность субстрата спор грибов в концентрации больше 0,30 кг/м² нецелесообразно. На определенный объем спор необходим определенный объем воды и питательных веществ из карста для развития. При объеме спор грибов больше, чем 0,30 кг/м² будет наблюдаться недостаток концентрации питательных веществ и споры не будут развиваться должным образом, кроме того будет происходить перерасход материала.

При этом, предпочтительно использовать споры гриба, выбранные из группы: споры гриба триходерма (*Trichoderma reesei*), споры гриба сморчок (*Morchella esculenta*).

Предложенный способ демонстрирует, как с помощью спор грибов возможно решить проблему карстовых провалов. Расширяясь под воздействием влаги в открывшихся трещинах материала, они вызывают осаждение кальцита под действием грунтовых солей и как следствие, образование природного известняка. Авторами экспериментальным путем было установлено, что карстовые модули со спорами и субстратом на основе смеси доломитовой муки, опилок, глины и мха в заявленном соотношении компонентов соответственны способны выдержать нагрузку до 40 МПа при развитии в течении полугода (минимальный срок - 3 недели)

В отличие от известных технологий, заявленный способ решает проблему реализации в коммерческих масштабах, то есть укрепления больших площадей материала. Низкая стоимость спор гриба как местного простейшего материала в России и отсутствие необходимости в дополнительных реагентах, таких как лактат кальция, отдает приоритет грибам, нежели бактериям.

Авторами были проведены экспериментальные исследования, в процессе которых в качестве основы был выбран карстовый овраг вдоль реки Ноксы города Казани (с.ш 55 ° 47,45'; в.д 49 ° 06,87'). Участок характеризовался природным разнообразием за счет близости лесной зоны. Для экспериментального исследования были взяты образцы почвы, проанализирована местная биота (мхи, лишайники, грибы), а также выявлена морфология карстового ущелья и климатические условия. Так, все отобранные материалы были классифицированы на 4 основные группы - карстовый грунт (основа), грибы, компоненты кальцита, влагоудерживающие растения (контроль климата) для последующего тестирования.

Методология эксперимента включала наблюдение за расширением спор гриба в жидких средах и твердых субстратах на основе карстовой почвы, а также наблюдение за их последующим развитием в плодовое тело в карстовых модулях, имитирующих реальные условия на стенках воронки с различным соотношением обозначенных на месте питательных компонентов. Финальное испытание на прочность показало качество полученного материала.

Были выполнены следующие группы тестов:

Первая группа - Расширение спор гриба в жидкой среде. Осаждение кальцита.

Тест 1. Нейтральная суспензия (вода)

Цель теста - доказать способность спор *Trichoderma reesei* (триходерма) осаждать кальцит в реакции только с водой. Принимается во внимание факт, что споры превращаются из 'порошка' в 'зеленую массу', покрывшуюся со временем белым порошком кальция.

ингредиенты - вода (1) + споры гриба триходерма (0,2)

кислотность субстрата - pH 7

Результатом теста является плохо растворимая клейкая масса. Отмечено, что споры разрослись в сеть (через 2 недели), образовали кристаллы (через 1 месяц) и карбонатно-белый порошок (через 1,5-2 месяца).

- 5 Положительный аспект теста в том, что споры *Trichoderma* способны осаждать кальций и производить известняк. Однако, кальцификация происходит очень медленно (более 1 месяца). В связи с этим, необходимо ввести дополнительный ресурс кальция в следующих тестах.

Тест 2. Суспензия на основе биобактерий

- 10 Предполагается, что кефирные биобактерии являются источником кальция. Кроме того, эта кислая среда может вызвать развитие гриба.

ингредиенты - кефирные грибки (биобактерии) (1) + споры гриба триходерма (0,2)
кислотность субстрата - pH 5

- 15 Результатом теста является плохо растворимый клей с кальциевыми образованиями различной плотности. Порошок спор был преобразован в микропористую структуру.

Положительный аспект теста в том, что молочные добавки увеличивают плотность получаемого кальция. Однако, кальцификация также происходит очень медленно, и кальцит, по-прежнему, хрупкий. В связи с этим, необходимо ввести другие ресурсы кальция в следующих тестах.

- 20 Тест 3. Карстовая почва с лактатом кальция в воде

Лактат кальция используется учеными Делфта в качестве реагента для производства известняка спорами бактерий. Предлагается применять этот компонент в отношении спор грибов.

- 25 ингредиенты - карстовая почва (1) + лактат кальция (1) + споры гриба триходерма (0,2) + вода (5)
кислотность субстрата - pH 8

- Результатом теста являются отчетливые кальцитовые образования. Положительный аспект теста в том, что кальцификация происходит быстро (в течение 1 месяца) с известняковыми образованиями, то есть лактат кальция является возможным
30 компонентом минерализации. Однако, мицелий для воспроизводства системы не образуется. В связи с этим, необходимо уменьшить количество воды и обеспечить питательные вещества для развития плодового тела в следующих тестах (поскольку оно является необходимым элементом воспроизводства системы без участия человека).

- 35 Вторая группа - Развитие спор в мицелий гриба и плодовое тело. Воспроизводство системы.

Тест 1. Карстовый грунт

Цель теста - определить, есть ли в карстовой почве кальцит для минерализации без дополнительных источников кальция и питательных веществ.

- 40 ингредиенты - карстовая почва (6) + триходерма (0,2) + мицелий сморчка + вода (1)
кислотность субстрата - pH 7,8

- Результатом теста являются карбонатные образования различной плотности, запах грибов. Положительный аспект теста в том, что минерализация происходит быстро (через 1 месяц), и хорошо видны карбонатные образования, следовательно, местный карст имеет необходимые источники кальция. Тем не менее, мицелий формируется
45 медленно, и необходимо добавлять питательные вещества для улучшения его роста.

Тест 2. Глина

Глина позиционируется как источник кальция и питательных веществ для развития гриба. Более того, она способна сохранять прохладу и влажность, то есть потенциально

улучшать этот процесс. Также предполагается, что сокращение объема воды активизирует рост мицелия.

ингредиенты - глина (3) + лактат кальция (0,2) + триходерма (0,2) + вода (1)

кислотность субстрата - pH 7,5

- 5 Результатом теста является густая смесь белого цвета, различающаяся по плотности. Положительный аспект теста в том, что минерализация происходит, и есть плотные образования известняка. Однако, мицелий для воспроизводства системы не растет, то есть необходимо добавлять другие питательные вещества (например, опилки и торфяная почва) в следующих испытаниях.

- 10 Тест 3. Торфяной грунт и опилки

Тест основан на способности гриба расти на кислотной питательной основе. В этом отношении, древесные материалы (опилки) являются подходящими компонентами.

ингредиенты - торфяной грунт (3) + опилки (6) + триходерма (0,2) + мицелий сморчка + вода (1)

- 15 кислотность субстрата - pH 5,5

Результатом теста являются небольшие кальцитовые образования, белая сеть мицелия, запах грибов. Положительный аспект - белые образования мицелия (живая система). Однако, также появилась плесень в некоторых местах. В связи с этим, необходимо нормализовать влажность и изменить субстрат в следующих тестах.

- 20 Тест 4. Карстовый грунт с доломитовой мукой

Было отмечено, что компоненты целлюлозы (древесины) улучшают рост гриба. В связи с этим, доломитовая мука, являясь аналогом древесины и кальция (состав CaCO_3), может быть компонентом как для минерализации, так и для развития гриба.

- 25 ингредиенты - карстовый грунт (6) + опилки (3) + доломитовая мука (1) + триходерма (0,2) + мицелий сморчка + вода (1,2)
кислотность субстрата - pH 8

- На фиг. 3 приведены фото модулей микрокарт в процессе кальцификации в карсте на основе спор, полученные в ходе проведения экспериментальных исследований, на 1-й, 21-й, 40 день эксперимента. На фото видны плотные кристаллы карбоната и
30 грибковые тела (мицелий и головки), т.е. система способна к «самовосстановлению» и воспроизводству.

- Результатом теста являются карбонатные образования различной плотности, грибной мицелий с мелкими 'зародышами' плодовых тел. Положительный аспект теста в том, что происходит минерализация, и карбонатные образования хорошо видны. Более
35 того, это вызывает появление эстетических образований гриба (через 3 недели). Наконец, установлено, что субстрат на основе карстовой и доломитовой муки имеет необходимые источники кальция для минерализации и питательную базу для развития гриба, несмотря на проблему различных pH почвы (статистически благоприятных) для этих процессов. Так, необходимо провести испытание на прочность полученного субстрата (названного
40 Микокарст) в следующих испытаниях.

Третья группа - Испытание на прочность

- Для испытания на прочность были подготовлены 12 модулей Микокарст размером 8*18 см на основе карста, спор и доломитовой муки. Глина, опилки и мох добавляются в модули в различных соотношениях для имитации разнообразия рассматриваемого
45 карстового участка, а также для поддержания влажности. Цель - сделать вывод об оптимальном соотношении компонентов в максимально устойчивом модуле Микокарст, принимая во внимание и возможность воспроизводства системы и эстетический аспект (формирование ландшафта).

ингредиенты - карстовый грунт (6) + зола (1-3) + доломит (1-3) + опилки (0-2) + споры триходермы (0,2) + мицелий сморчка + глина (0-2) + мох (1-3) + вода (1)

кислотность субстрата - pH 7,5-8,5

Модули подготавливались в лабораторных условиях с температурой 11-17 С и влажностью до 80-90 процентов в течение еще 3 недель (в целом 1,5 месяца).

Положительный научный результат определяется устойчивыми (первично (1,5 месяца) - на весу, вторично (0,5 года) - на сжатие) модулями материала Микокарст на основе карстовой почвы и грибных спор.

Результаты экспериментального исследования.

Экспериментальное исследование показало, что споры гриба способны расширяться в воде, создавая сеть, которая со временем покрывается образованиями кальция (но для этого требуется более 3 месяцев, что неэффективно) (тест 1). Было обнаружено, что источники связанного кальция, такие как лактат кальция ($C_6H_{10}CaO_6$), кефирные биобактерии, доломитовая мука ($CaCO_3$) и сам карст ($CaCO_3$, $CaSO_4$), вызывают более эффективную минерализацию (через 1 месяц) (тесты 2-4, 7).

Так, было доказано, что споры способны связывать карстовую почву на основе сульфатов ($CaSO_4$ и $CaCO_3$) в Казани за счет наличия в ней связанного кальция. Было установлено, что карстовые модули со спорами и компонентами золы, доломитовой муки, глины в соотношении карст: зола: доломитовая мука: глина как 6:2:3:1 способны выдержать нагрузку до 40 МПа при развитии в течении полугода (минимальный срок - 3 недели). Однако получение сильных минералов занимает гораздо больше времени (за рамками данного исследования).

Кроме того, природные компоненты, такие как опилки, глина и мох в карстовом районе вдоль реки Нокса, поддерживают уровень влажности почвы и улучшают условия развития гриба. Так, грибные споры образуют две структуры: известковый минерал для карстовой устойчивости и эластичную живую материю (мицелий), развивающуюся совместно с карстовой системой. Такие интегрированные технологии не были выявлены в обзоре литературы, хотя ученые рассматривали эти два принципа в отношении новых биоматериалов (самовосстанавливающихся и 'грибных' кирпичей).

Результатом процесса самовосстановления будет укрепление стенок карстовой воронки, а на длительном промежутке времени при реализации заявленного способа будет полное заполнение полости карстовой воронки минеральной грибной породой - ликвидация воронки.

Следует отметить, что деятельность человека (робота) необходима только на 1 (1-2) стадии, поскольку акцент ставится именно на способность материала в самовосстановлении и минимизацию, в связи с этим, времени и затрат.

Заявленный способ позиционируется как новая типология самовосстанавливающихся материалов городской среды, способных эволюционировать с городскими системами и образовывать новый ландшафт города. Активно развивающийся город, расположенный на карстовых пластах, имеет потенциал к внедрению "умных" методов мониторинга карстовых процессов с минимальным человеческим участием и созданию новых типологий экосистем для социальных и экологических целей.

Несмотря на то, что экспериментальные исследования при разработке нового способа были связаны с конкретной территорией, предложенный способ носит универсальный характер в силу сходства условий и структуры карстовых почв, а также глобального характера самой проблемы карстовых провалов. В связи с этим, технология самовосстановления материалов с высокой вероятностью разрушения актуальна для любой точки мира.

(57) Формула изобретения

1. Способ укрепления стенок карстовой воронки с использованием спор гриба, заключающийся в том, что наносят на открытую поверхность карстовой воронки по меньшей мере один слой субстрата, включающего смесь из доломитовой муки, опилок, глины и мха, распыляют споры гриба на поверхность субстрата в концентрации от 0,15 кг/м² до 0,30 кг/м² и поддерживают влажность субстрата на уровне 10-20% до момента первичного осаждения калция спорами.

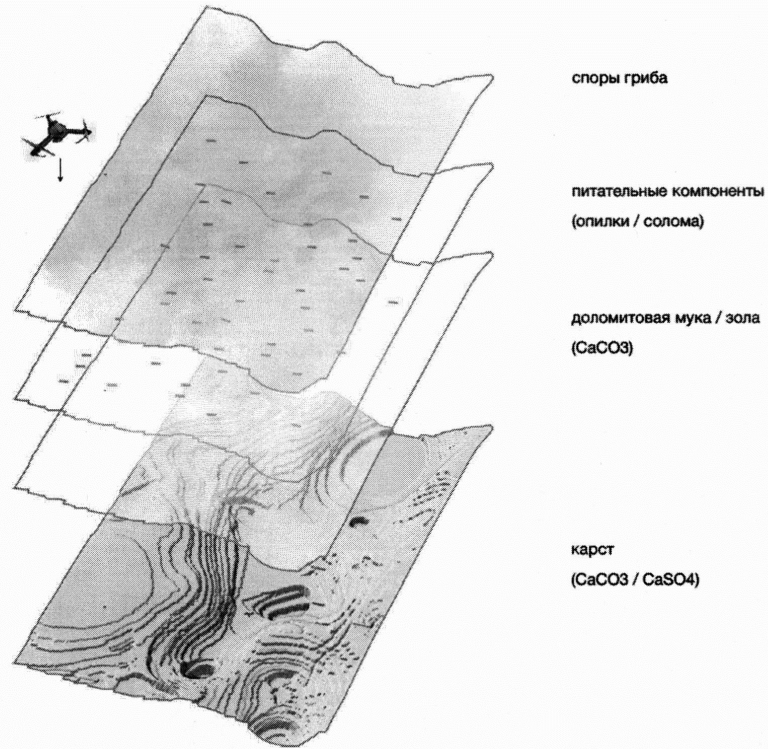
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что используют споры гриба, выбранные из группы: споры гриба триходерма (*Trichoderma*), споры гриба сморчок (*Morchella esculenta*).

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что субстрат, состоящий из смеси доломитовой муки, опилок, глины и мха, включает компоненты в следующем соотношении: 6 частей доломитовой муки, от 1 до 3 частей опилок, от 0 до 2 частей глины, от 1 до 3 частей мха.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что субстрат дополнительно включает от 1 до 3 частей золы.

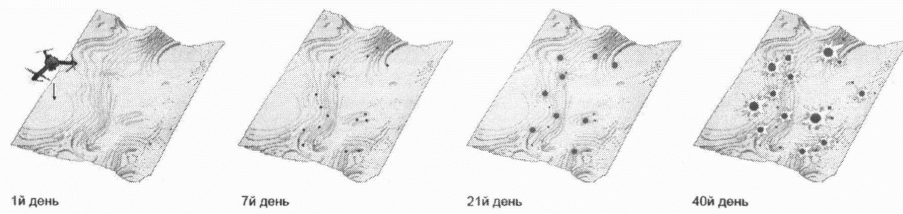
5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что нанесение на поверхность карстовой воронки, по меньшей мере, одного слоя субстрата осуществляют при помощи дистанционно управляемых технических средств.

1

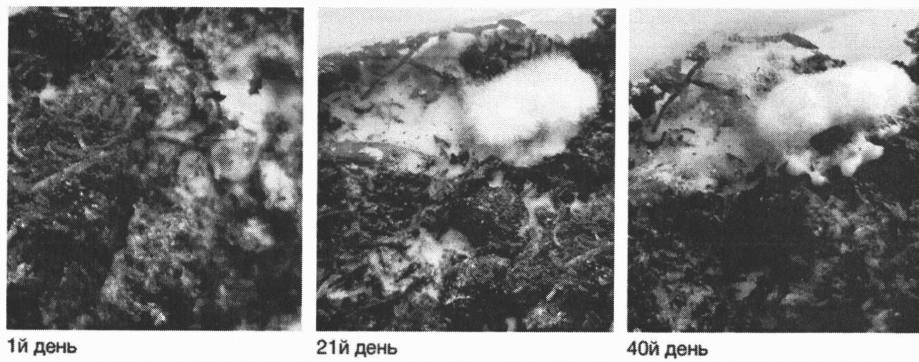


фиг. 1

2



фиг. 2



фиг. 3