

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2643038

СПОСОБ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Пашкевич Мария Анатольевна (RU), Смирнов Юрий Дмитриевич (RU), Кремчев Эльдар Абдоллович (RU), Нагорнов Дмитрий Олегович (RU), Афанасиади Карина Ивановна (RU)*

Заявка № 2017120638

Приоритет изобретения 13 июня 2017 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 30 января 2018 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 13 июня 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 79/02 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017120638, 13.06.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.06.2017

Дата регистрации:
30.01.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.06.2017

(45) Опубликовано: 30.01.2018 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий (отдел
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Пашкевич Мария Анатольевна (RU),
Смирнов Юрий Дмитриевич (RU),
Кремчеев Эльдар Абдоллович (RU),
Нагорнов Дмитрий Олегович (RU),
Афанасиади Карина Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2512171 C2, 10.11.2013. RU
2569582 C1, 27.11.2015. UA 14048 A1,
25.04.1997.

(54) СПОСОБ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области охраны окружающей среды и может быть использовано для изоляции поверхностей хвостохранилищ, состоящих из токсичных отходов, с целью восстановления нарушенных земель. Способ включает проведение в первый год технического этапа рекультивации путем создания изоляционного дренажного слоя, нанесение искусственного субстрата, а на второй год после усадки искусственно-созданного грунта проводят биологический этап рекультивации, производят подсыпку искусственного субстрата и посев семян травосмеси многолетних низовых злаков. На техническом этапе формируют песчано-

гравийную прослойку, затем укладывают геосинтетический материал, наносят искусственно-созданный субстрат, изготовленный из плодородного грунта, включающий сапрпель, активный ил и старику, а биологический этап рекультивации осуществляют посевом семян травосмеси многолетних низовых злаков и вносят природную древесную мульчу методом гидропосева. Способ рекультивации хвостохранилищ помогает минимизировать ресурсные затраты на проведение работ и высокую эффективность данного способа, которая подтверждена результатами пылевых и лабораторных исследований. 1 ил., 4 табл.

RU 2 643 038 C1

RU 2 643 038 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
A01B 79/02 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017120638, 13.06.2017**

(24) Effective date for property rights:
13.06.2017

Registration date:
30.01.2018

Priority:

(22) Date of filing: **13.06.2017**

(45) Date of publication: **30.01.2018** Bull. № 4

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,
federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet", otdel intellektualnoj sobstvennosti i
transfera tekhnologij (otdel IS i TT)**

(72) Inventor(s):

**Pashkevich Mariya Anatolevna (RU),
Smirnov Yuriy Dmitrievich (RU),
Kremcheev Eldar Abdollovich (RU),
Nagornov Dmitrij Olegovich (RU),
Afanasiadi Karina Ivanovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF TAILING DUMPS RECLAMATION**

(57) Abstract:

FIELD: environmental protection.

SUBSTANCE: invention relates to the field of environmental protection and can be used to isolate the surfaces of tailing dumps consisting of toxic waste to restore disturbed lands. Method includes carrying out in the first year of the technical stage of reclamation by creating an insulating drainage layer, applying an artificial substrate, and in the second year after the shrinkage of the artificially created soil, the biological stage of reclamation is carried out, the artificial substrate is poured and seeded with grass mixtures of perennial grasses. At the technical stage, a sandy-gravel interlayer

is formed, then a geosynthetic material is laid, an artificially created substrate made of fertile soil is applied, including sapropel, activated sludge and the biological stage of reclamation is carried out by sowing seeds of grass mixtures of perennial grasses and natural tree mulch is introduced by hydroseeding.

EFFECT: method of reclamation of tailing dumps helps to minimize the resource costs of the work and the high efficiency of this method, which is confirmed by the results of field and laboratory studies.

1 cl, 1 dwg, 4 tbl

Изобретение относится к области охраны окружающей среды и может быть использовано для изоляции поверхностей техногенных массивов, например хвостохранилищ, слагающихся из токсичных отходов, с целью восстановления нарушенных земель.

5 Известен способ предотвращения загрязнения окружающей среды токсичными и радиоактивными веществами (патент РФ №2168223, опубл. 20.03.2001 г.), заключающийся в последовательной засыпке гидрофобизированным природным грунтом толщиной, достаточной для исключения капиллярного подъема жидкости на
10 открытых хранилищах радиоактивных отходов. При этом гидрофобизацию грунта осуществляют обработкой его раствором гудрона в органическом растворителе. Слой гидрофобизированного грунта составляет 3-5 см. Недостатками данного способа являются применение нефтепродуктов, которые подавляют рост и развитие
растительных организмов, высокая термическая чувствительность гудрона, размягчение при высоких температурах и хрупкость при низких, а также неудовлетворительные
15 показатели его механических характеристик и склонность к старению.

Известен способ консервации и изоляции техногенных месторождений (патент РФ №2547869, опубл. 10.04.2015 г.), заключающийся в приготовлении гидроизоляционной смеси, содержащей отходы полиэтилена, укладке ее на поверхность хранилища, нанесении на остывшую поверхность дренажного слоя из крупнозернистого материала,
20 далее наносят на поверхность слой мятой глины 0,2- 0,4 м и уплотнение, укладку гидроизоляционной смеси на подготовленную поверхность осуществляют экструзивно при температуре 180-200°C полосами шириной 2-2,5 м с взаимным перекрытием на 0,15-0,2 м, указанный дренажный слой наносят толщиной 0,1-0,15 м, а гидроизоляционная смесь содержит в качестве отходов полиэтилена - отходы полиэтилена высокого и
25 низкого давления, и дополнительно - полиизобутилен и газовую сажу. Недостатком данного способа является потенциальная опасность высвобождения вредных веществ при нагревании отходов полиэтилена, большая энергоемкость приготовления гидроизоляционной смеси, а также трудоемкость и многостадийность процесса.

Известен способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации
30 нарушенных земель (патент РФ №2484613, опубл. 20.06.2013 г.), заключающийся во внесении на поверхность грунта отходов, минеральных удобрений и посев многолетних трав. При этом на поверхность грунта наносят отходы горнодобывающей промышленности слоем не менее 5 см, содержащие кальцит и/или гидросиликат магния. В качестве отходов горнодобывающей промышленности используют также
35 карбонатитовые отходы, или отсев оливинитовой руды, или серпентинитомагнезит. Вносят комплексные удобрения N70P70K70, затем слоем до 1 см рассыпают вспученный вермикулит с гранулами до 4 мм, проводят посев смеси семян многолетних растений, поливают водой и покрывают полимерной пленкой, которую удаляют на 5-7-й день. В качестве семян многолетних растений используют овсяницу красную, тимофеевку
40 луговую, кострец безостый, волоснец песчаный в количестве 50-100 г/м². Полив водой проводят из расчета 5 л/м². Недостатками данного способа являются трудность формирования экранирующего и плодородного слоя, из-за применения вермикулита, обладающего высоким коэффициентом водопоглощения, а также малая мощность экранирующего слоя, которое обеспечит проникновение корневой системы в
45 загрязненный грунт, тем самым приведет к остановке роста и развития растений.

Известен способ рекультивации хвостохранилищ в условиях Субарктики (патент РФ №2571346, опубл. 20.12.2015 г.), принятый за прототип, заключающийся в создании изоляционного дренажного слоя из скальных пород, щебня и гравия (подложка). Затем

наносят искусственный слой (субстрата), состоящий из речного песка, почвы и опилок, гранулированного шлака, угольного порошка, торфа и кека с последующим перемешиванием поверхностного слоя фрезерованием и его последующим прикатыванием. На второй год после усадки искусственного грунта проводят подсыпку субстрата и биологическую рекультивацию путем высаживания древесно-кустарниковой растительности и посева семян травосмеси многолетних низовых злаков разбросным способом с одновременным внесением азотно-фосфорно-калийных удобрений. Недостатками данного способа являются трудоемкость формирования изоляционного дренажного слоя и искусственного слоя (субстрата), ресурсоемкость способа при применении данного способа рекультивации больших территорий; капиллярный подъем загрязняющих веществ и их проникновение в искусственный слой (субстрат). Изоляционный дренажный слой из скальных пород, щебня и гравия (подложка) первое время будет препятствовать капиллярному подъему загрязняющих веществ, однако вымывание искусственного слоя (субстрата) осадками вскоре приведет к засорению гранулированного материала, и капиллярный подъем возобновится.

Техническим результатом изобретения является использование повсеместно доступных экологически чистых естественных материалов, подбор параметров изолирующего и плодородного слоя и минимизация ресурсных затрат на проведение работ по защите наносимого плодородного слоя от фитотоксичных отходов обогащения хвостохранилища.

Технический результат достигается тем, что на техническом этапе формируют песчано-гравийную прослойку фракцией от 2 до 5 мм и мощностью от 10 до 15 см, затем укладывают геосинтетический материал плотностью от 160 до 180 г/м² и толщиной от 2 до 4 мм, наносят искусственно-созданный субстрат, изготовленный из плодородного грунта, включающий сапрпель, активный ил и старику в соотношении: 60:20:10:10 мощностью от 10 до 15 см, а биологический этап рекультивации осуществляют посевом семян почвозадерживающих трав с нормой высева от 40 до 70 кг/га и вносят природную древесную мульчу с удельным расходом от 1100 до 1300 кг/га методом гидропосева.

Способ рекультивации хвостохранилищ поясняется следующей фигурой:
фиг. 1 - схема нанесения рекультивационных слоев на искусственную дамбу хвостохранилища, где:

- 1 - хвостовые отложения;
- 2 - песчано-гравийная прослойка;
- 3 - геосинтетический материал;
- 4 - искусственный субстрат;
- 5 - семена почвозадерживающих трав.

Способ осуществляется следующим образом. В первый год проводят технический этап рекультивации хвостовых отложений 1 (фиг. 1), который включает в себя выполнение планировочных работ с использованием бульдозеров из парка машин предприятия.

После проведения грубой и чистовой планировки на окончательно выровненную площадку осуществляется доставка песчано-гравийной смеси 2 фракцией 2-5 мм. Нанесение и распределение песчано-гравийной смеси мощностью 10-15 см производится при помощи бульдозеров.

Для полного разрыва капиллярных связей с хвостовыми отложениями 1 на спланированную поверхность укладывают нетканый иглопробивной геосинтетический материал 3 толщиной 2-4 мм, плотностью от 150 до 450 г/м².

В дальнейшем осуществляется нанесение искусственного субстрата 4 мощностью

10-15 см, изготовленного из потенциально-плодородного грунта, сапропеля, активного ила и старики в соотношении 60:20:10:10%.

Перемешивание и крошение нанесенного слоя искусственного субстрата на рекультивируемую поверхность осуществляется методом фрезерования, что улучшает водный, воздушный и тепловой режим грунта и активизирует микробиологические процессы в ней.

Во второй год после усадки искусственно-созданного капилляропрерывающего слоя и искусственного субстрата проводят подсыпку искусственного субстрата и биологический этап рекультивации. Для предотвращения разрушения созданного субстрата на поверхности хвостохранилища под действием процессов водной и ветровой эрозии необходимо закрепить рекультивируемую поверхность гидропосевом с использованием семян почвозадерживающих трав 5.

Способ поясняется следующими примерами. В качестве объекта исследования выбрана территория осушенных и законсервированных хвостохранилищ в г. Мирный, Республики Саха (Якутия), поверхность которой не подвергается естественному зарастанию.

В начале исследований для определения пригодности отходов обогащения к биологической рекультивации, отобраны пробы и выполнен агрохимический анализ.

Элементный состав хвостов определен рентгенофлуоресцентным методом лабораторным оборудованием «ThermoFisherScientific ARL 9900 WorkStation».

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Наименование	Содержание, %		
	Проба №1	Проба №2	Проба №3
SiO ₂	48,55	33,04	33,05
MgO	32,53	30,61	25,04
Al ₂ O ₃	6,57	11,69	11,2
CaO	4,83	18,31	24,85
Fe ₂ O ₃	3,41	1,29	1,03
Na ₂ O	1,51	1,25	1,33
TiO ₂	0,92	0,175	0,82
K ₂ O	0,88	2,01	1,33
S	0,235	1,04	0,85
P ₂ O ₅	0,204	0,0716	0,09
BaO	0,121	0,0726	0,11
Cl	0,08	0,221	0,13
Cr ₂ O ₃	0,0598	0,00	0,01
MnO	0,0534	0,227	0,15
SrO	0,0473	0,0448	0,03
ZnO	0,0	0,0104	0,01

Согласно элементному составу основная часть отходов обогащения представлена оксидами кремния, магния, алюминия и кальция и практически не насыщена органическим веществом.

Оценка общей концентрации растворенных солей в отобранных пробах выполнена методом жидкостной хроматографии оборудованием «Shimadzu LC-20».

Таблица 2 – Результаты оценки концентрация растворенных солей

Наименование	Проба №1, мг/л	Проба №2, мг/л	Проба №3, мг/л
Cl ⁻	412	779	402
SO ₄ ²⁻	371	509	315

По результатам анализа определен тип засоления - сульфатно-хлоридный, а по процентному содержанию сульфатов и хлоридов степень - сильнозасоленная.

В результате проведенных анализов проб установлена совокупность свойств нарушенных земель, обуславливающих непригодность хвостов обогащения к биологической рекультивации. Засоление приводит к созданию в почве низкого водного потенциала, поэтому поступление воды в растение сильно затрудняется. Также вредное влияние высокой концентрации солей связано с повреждением мембранных структур, вследствие чего возрастает ее проницаемость, теряется способность к избирательному накоплению веществ.

Если произвести рекультивацию путем нанесения плодородного слоя из почвосмесей на поверхность хвостохранилища, то в растениях накопятся фитотоксичные элементы, содержащиеся в хвостах, что приостановит рост и развитие растений и в конечном счете приведет к их гибели. Эффективным вариантом решения проблемы в данном случае является укладка геосинтетического материала на поверхность хвостохранилища с формированием песчаной прослойки перед нанесением плодородного слоя почвы. Предлагаемое решение позволяет изолировать засоленную поверхность хвостохранилища, а также пресечь капиллярный подъем и миграцию минерализованных вод в верхние слои почвы, тем самым добиваясь создания условий, необходимых для успешного восстановления экосистемы.

В первый год проводят технический этап рекультивации поверхности хвостохранилища, который включает в себя выполнение планировочных работ с использованием бульдозеров из парка машин предприятия. Направление движения бульдозера должно быть по возможности прямолинейным.

Грунт срезают на повышениях и перемещают в пониженные места хвостохранилища, такие как овраги, ямы и траншеи. При этом на отвале должно находиться некоторое количество грунта, но не более половины возможной загрузки, так как при большем количестве грунта трудно регулировать глубину резания.

После проведения грубой и чистовой планировки на окончательно выровненную площадку осуществляется доставка песчано-гравийной смеси фракцией 2-5 мм автосамосвалами с ближайшего месторождения-карьера. Нанесение и распределение гранулированного материала мощностью 10-15 см производится при помощи бульдозеров. Созданный капилляропрерывающий слой из гранулированного материала будет препятствовать капиллярному подъему минерализованной воды, однако со временем вымывание плодородного слоя грунта осадками приведет к заиливанию гранулированного материала, уменьшению средневзвешенного размера пор и, как следствие, капиллярный подъем возобновится.

Для полного разрыва капиллярных связей с токсичными грунтами хвостохранилища на спланированную поверхность укладывают нетканый иглопробивной геосинтетический материал толщиной 2-4 мм, плотностью от 150 до 450 г/м².

Выбор материала проводился согласно «Рекомендациям по применению, геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог»,

были определены требования к геосинтетическому материалу в зависимости от цели его применения.

Основными показателями свойств геосинтетических материалов, необходимых для замедления процесса эрозии грунтов и предотвращения взаимопроникания материалов контактирующих слоев, являются: поверхностная плотность полотна, его прочность при растяжении, удлинение при растяжении, однородность по поверхностной плотности.

Для условий хвостохранилища ОФ №3 также необходимо учитывать: коэффициент фильтрации, диаметр пор материала, стойкость к воздействию низких температур, стойкость к воздействию кислот и щелочей, водостойкость, вес стандартного рулона, цена на материал.

Для сравнения отобраны основные, применяемые в России геосинтетические материалы торговых марок: «Стабитекс», тканый материал, изготовленный из полиамида; «Дорнит», нетканый иглопробивной материал из полипропилена; «Текспол», нетканый материал из полиэфира.

Была проведена сравнительная характеристика геосинтетических материалов и представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная таблица технических характеристик геосинтетических материалов

Наименование показателей	Тканые «Стабитекс»	Нетканые	
		Иглопробивные «Дорнит»	Термоскрепленные «Текспол»
Поверхностная плотность, г/м ²	160 - 360	160 - 450	200 -350
Прочность при растяжении, кН/м	40	5,0	7,5
Удлинение при одноосном растяжении, %	10	140	70
Однородность по поверхностной плотности, отклонения по толщине, мм	±0,15	±0,2	±0,25
Коэффициент фильтрации, м/сут	15	120	60
Диаметр пор, мкм	60	90	100
Стойкость к воздействию низких температур, коэффициент стойкости не менее	Устойчив к температурным колебаниям	Устойчив к температуре в пределах от -60 до + 90°С	Устойчив к температурным колебаниям
Стойкость к воздействию кислот и щелочей при рН 2-10	Устойчив к агрессивным химическим средам, дополнительное снижение прочности при рН <5,5	Устойчив к действию кислотных и щелочных сред	Снижение прочности в щелочной среде с рН ≥ 9
Водостойкость	Снижение прочности до 30 % при увлажнении	Хорошая	Хорошая
Вес стандартного рулона, кг	96	80	96
Сырье	полиамид	полипропилен	полиэфир
Цена за м ² , руб.	75	10,3	37

По функциональным назначениям для проведения рекультивационных работ на

хвостохранилище ОФ№3 необходим геосинтетический материал со следующими показателями свойств: поверхностная плотность 300 г/м²; прочность на растяжение не менее 5 кН/м; относительное удлинение при одноосном растяжении 60-120%; коэффициент фильтрации 100 м/сут; диаметр пор 60-120 мкм; хорошая водоустойчивость, морозостойкость, устойчивость к агрессивной среде; низкая закупочная цена.

Наиболее подходящим по вышеперечисленным показателям является геотекстиль марки «Дорнит». Материал не подвержен горению, не гниет и не плесневеет, стоек к воздействию различных химических веществ, а также грибковых образований. «Дорнит» имеет структуру, обеспечивающую прочность, а также хорошие фильтрующие свойства, что позволяет использовать такой материал в различных сферах.

Нетканый геотекстиль «Дорнит» расправляется и укладывается по длине участка продольно или поперечно относительно оси насыпи. Раскатку рулона полотна на объекте выполняют вручную втроем с поэтапным закреплением материала на основании грунта анкерами. После каждого этапа раскладки рулона необходимо выровнять материал, делать небольшое натяжение и крепить полотна между собой и к грунту. Каждое следующее полотно укладывается с перекрытием предыдущего на 0,3-0,5 с целью обеспечения непрерывности текстильного слоя.

Скрепление полотен геотекстиля между собой может осуществляться сварным методом или шивным соединением встык. Крепление материала к грунтовому основанию осуществляется при помощи анкеров, которые устанавливаются через каждые 1,5-2 метра полотна на ширине перекрытия.

В дальнейшем осуществляется нанесение искусственного субстрата мощностью 10-15 см, изготовленного из потенциально-плодородного грунта, сапропеля, активного ила и старики в соотношении 60:20:10:10%. Доставка активного ила осуществляется с местной станции биологической очистки, сапропель с близ лежащей реки Ирелях, а доступность старики - сухой прошлогодней травы, обусловлена возможностью ее сбора на зарастающих отвалах и луговых площадках. Применение старики способствует задерживанию влаги в летний сезон, служит защитным слоем от морозов и ветров, а при гниении является источником питательных веществ; активный ил - имеет большое содержание биогенных элементов, особенно богат азотом и фосфорным ангидридом; сапропель - единственное органическое удобрение, применяемое для коренного улучшения почв.

Доставка субстрата на поверхность хвостохранилища осуществляется автосамосвалами, планирование созданного субстрата - бульдозерами.

Перемешивание и крошение нанесенного слоя субстрата на рекультивируемую поверхность осуществляется методом фрезерования, что улучшает водный, воздушный и тепловой режим грунта и активизирует микробиологические процессы в ней.

Во второй год после усадки искусственно-созданного капилляропрерывающего слоя и искусственного субстрата проводят подсыпку искусственного субстрата и биологический этап рекультивации. Для предотвращения разрушения созданного субстрата на поверхности хвостохранилища под действием процессов водной и ветровой эрозии необходимо закрепить рекультивируемую поверхность гидропосевом многолетних трав. При механизированном гидропосеве приготавливают взвесь семян и древесных волокон. Под мульчей хорошо сохраняется влага и почвы не перегревается, что создает оптимальные условия для роста и развития растений. На 1 га площади отвалов расходуется от 1200 кг древесных волокон и около 6000 литров воды с нормой высева многолетних злаковых трав, характерной для таежных почв - 70 кг/га. Для эксперимента были подобраны семена многолетних растений, наиболее пригодных

для биологической рекультивации в зависимости от их биологических свойств, природно-климатических условий района и состава хвостов обогащения. В качестве тест-культуры была выбрана травосмесь следующего состава:

- полевица побегоносная, 10%
- 5 - мятлик луговой, 30%
- щучка дернистая, 10%
- овсяница красная, 20%
- кострец безостый, 20%
- лисохвост луговой, 10%.

10 За посеянными многолетними травами необходимо проводить наблюдение и осуществлять ежегодную подкормку в течение 3 лет комплексным удобрением 100 кг/га. В результате проведения рекультивации образуется плотная дернина, формируется устойчивый растительный покров на искусственном субстрате, который препятствует развитию эрозийных процессов.

15 Для проверки эффективности предложенного варианта экранирования проведен комплекс лабораторных и полевых исследований, для обоснования того, что последовательная укладка песчаного капилляропрерывающего слоя и геосинтетического материала является наиболее эффективным решением для предотвращения подъема минерализованных вод в плодородный слой почвы и негативного воздействия на
20 растительные организмы.

Для оценки эффективности предложенных вариантов экранирования проведен эксперимент в аккредитованном ЦКП Горного университета в течение 70 суток. В лабораторных условиях сформирован модельный грунт, а на поверхности посеяны семена подобранных многолетних трав. За высаженными растениями проводились
25 наблюдения и фиксировались основные показатели: температура и влажность воздуха в помещении, внешний облик растения, темп роста и повреждения. По окончании эксперимента с поверхности моделей отобраны пробы для дальнейшего исследования.

Для проверки результатов, полученных в лабораторных условиях, был проведен полевой эксперимент. Заложены опытные площадки на поверхности хвостохранилища
30 и произведен посев семян подобранных многолетних растений. Эксперимент проводился на протяжении 40 суток. В ходе эксперимента осуществлялся мониторинг климатических условий: скорость ветра, влажность, температура, интенсивность выпадения осадков, интенсивность солнечного излучения. За высаженными растениями проводились
35 наблюдения и фиксировались основные показатели, а также внешний облик растения, темп роста и повреждения. По окончании эксперимента с поверхности моделей отобраны пробы для дальнейшего исследования

Эффективность экранирования определяется по минимальному содержанию хлорид-ионов и сульфат-ионов, мигрировавших в нанесенный плодородный слой, а также по обильности произрастания и интенсивности последующего развития, засеянных на
40 плодородном слое многолетних трав.

В таблице 4 представлены основные значения концентраций хлорид-ионов и сульфат-ионов, мигрировавших в нанесенный плодородный слой, а также значения биопродуктивности используемого субстрата

Таблица 4 – Результаты лабораторных исследований проб грунта, отобранных с экспериментальных участков лабораторных и полевых моделей укладки и изоляции плодородного слоя почвы (далее ПСП)

Состав	С, мг/м ³ (хлорид-иона)	С, мг/м ³ (сульфат-иона)	Всхожесть травяной смеси, %	Цвет ростков (на 70 день)	Время жизни, дн
Лабораторные испытания					
ПСП (150 мм)+хвостовые отложения	66,8	98,35	30	Желтые (хлороз)	32
ПСП (150 мм)+геосинтетический материал(300 г/м ² , 4 мм)+хвостовые отложения	16,175	50,4	70	Зелено-желтые (начало проявления хлороза)	60
ПСП (150 мм)+геосинтетический материал(300 г/м², 4 мм)+капилляропрерывающий материал (100мм)+ хвостовые отложения	0,1	0,2	95	зеленые	70
ПСП (10 мм)+хвостовые отложения	70,7	107,6	20	Желтые (хлороз)	30
ПСП (10 мм)+геосинтетический материал(100 г/м ² , 2 мм)+хвостовые отложения	24,9	56,3	60	Зелено-желтые (начало проявления хлороза)	55
ПСП (10 мм)+геосинтетический материал(100 г/м², 2 мм)+капилляропрерывающий материал (5 мм)+ хвостовые отложения	0,22	0,34	85	зеленые	65

Состав	С, мг/м ³ (хлорид-иона)	С, мг/м ³ (сульфат-иона)	Всхожесть травяной смеси, %	Цвет ростков (на 70 день)	Время жизни, дн
Полевой эксперимент					
ПСП (150 мм)+хвостовые отложения	79,6	307,3	10	Желтые (хлороз)	30
ПСП (150 мм)+геосинтетический материал(300 г/м ² , 4 мм)+хвостовые отложения	43,9	365,3	40	Зелено-желтые (начало проявления хлороза)	54
ПСП (150 мм)+геосинтетический материал(300 г/м², 4 мм)+капилляропрерывающий материал (100мм)+ хвостовые отложения	0,13	0,15	70	зеленые	70
ПСП (10 мм)+хвостовые отложения	85	320	8	Желтые (хлороз)	26
ПСП (10 мм)+геосинтетический материал (100 г/м ² , 2 мм)+хвостовые отложения	50	385	35	Зелено-желтые (начало проявления хлороза)	50
ПСП (10 мм)+геосинтетический материал(100 г/м², 2 мм)+капилляропрерывающий материал (5 мм)+ хвостовые отложения	0,2	0,21	65	зеленые	68

Из таблицы 4 видно, что оптимальным вариантом последовательной укладки песчаного капилляропрерывающего слоя и геосинтетического материала является наиболее эффективным решением для предотвращения подъема минерализованных вод в плодородный слой почвы и предупреждения негативного воздействия на развитие растительных сообществ. Полученные в ходе исследования результаты позволили выбрать оптимальный вариант создания изолирующих экранов и использовать его в предложенном техническом решении, которое является перспективным для возвращения территории отчужденных земель в хозяйственный оборот.

Предлагаемый способ прост в исполнении, применяемый геосинтетический материал экологически безопасен и нейтрален к агрессивным средам, при этом устойчив к разнице температур в пределах от -60 до +100°С, что способствует поддержанию прочностных характеристик изолирующего материала. Используемый субстрат в качестве удобрения при биологической рекультивации легкодоступен и достаточно эффективен из-за высокого содержания органического вещества.

Способ рекультивации хвостохранилищ позволяет использовать выбранный метод

повсеместно с доступными экологически чистыми естественными материалами, помогает минимизировать ресурсные затраты на проведение работ и обеспечивает высокую эффективность данного способа, которая подтверждена результатами пылевых и лабораторных исследований.

5

(57) Формула изобретения

Способ рекультивации хвостохранилищ, включающий проведение в первый год технического этапа рекультивации путем создания изоляционного дренажного слоя, нанесение искусственного субстрата, а на второй год после усадки искусственно-
10 созданного грунта проводят биологический этап рекультивации, производят подсыпку искусственного субстрата и посев семян травосмеси многолетних низовых злаков, отличающийся тем, что на техническом этапе формируют песчано-гравийную прослойку фракцией от 2 до 5 мм и мощностью от 10 до 15 см, затем укладывают геосинтетический материал плотностью от 160 до 180 г/м² и толщиной от 2 до 4 мм, наносят искусственно-
15 созданный субстрат, изготовленный из плодородного грунта, включающий сапропель, активный ил и старику в соотношении: 60:20:10:10 мощностью от 10 до 15 см, а биологический этап рекультивации осуществляют посевом семян травосмеси многолетних низовых злаков с нормой высева от 40 до 70 кг/га и вносят природную древесную мульчу с удельным расходом от 1100 до 1300 кг/га методом гидропосева.
20

25

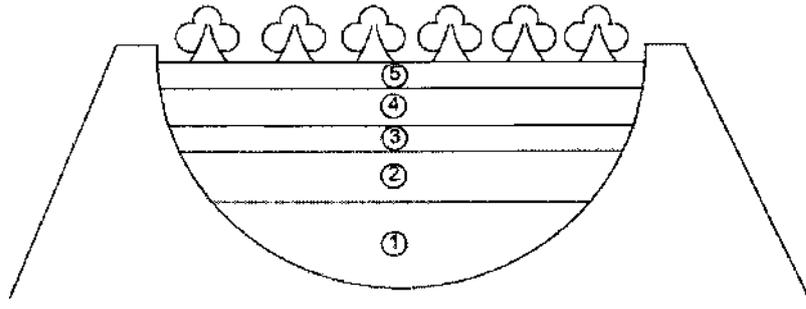
30

35

40

45

СПОСОБ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ



Фиг.1