

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) **ВУ** (11) **4021**
(13) **С1**
(51)⁷ **G 21F 9/34**

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАТЕНТНЫЙ
КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

(54)

СПОСОБ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПОЧВЫ

(21) Номер заявки: 970211
(22) 1997.04.15
(46) 2001.09.30

(71) Заявитель: Брестский политехнический институт (ВУ)
(72) Автор: Устинов Б.С. (ВУ)
(73) Патентообладатель: Брестский политехнический институт (ВУ)

(57)

1. Способ дезактивации почвы, включающий перепахивание зараженной радиоактивными веществами территории тракторным плугом на глубину до 20 см, **отличающийся** тем, что предварительно наносят на зараженную радиоактивными веществами поверхность почвы измельченное порошковое битумосодержащее сырье.

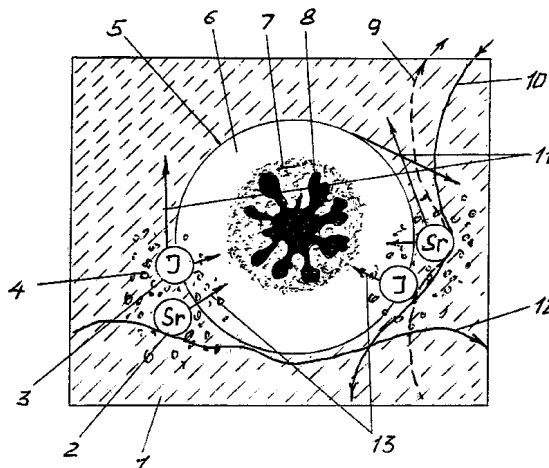
2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что измельченное порошковое битумосодержащее сырье наносят в смеси с известковой мукой.

3. Способ по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что после перепахивания поверхность почвы укрывают защитным слоем из порошкового битумосодержащего сырья.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что измельченное порошковое битумосодержащее сырье наносят на зараженную радиоактивными веществами поверхность почвы распылением по воздуху авиационными средствами.

(56)

Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г. и др. Гражданская оборона. М.: Высшая школа, 1986. - С. 161.
FR 2582141 A1, 1986.
RU 2008734 C1, 1994.
RU 2033647 C1, 1995.



Фиг. 1

Изобретение относится к снижению радиоактивности зараженных поверхностей, а конкретно - к дезактивации почвы, содержащей радиоактивный йод и изотопы стронция.

Известны способы дезактивации почвы, заключающиеся в удалении радиоактивных веществ с зараженных поверхностей с помощью механических и физико-механических средств [1].

Механический способ осуществляется с помощью землеройных механизмов, срезающих и удаляющих слой почвы с радиоактивными веществами с зараженных участков. Этот способ неэффективен, трудоемок, нарушает целостность окружающей среды, возникают проблемы с транспортировкой и захоронением удаленных объемов с радиоактивными веществами.

Физико-механический способ дезактивации связан с использованием, например, нефтепродуктов (бензина, керосина и дизельного топлива), а также дезактивирующих растворов типа ОП-7 и ОП-10, разбавляемых только водой. Этот способ дезактивации применяется ограниченно из-за сложности его осуществления, дефицитности средств, невозможности распыления их с помощью авиационных средств по воздуху над большими территориями, зараженными радиоактивными веществами. Кроме того, активность дезактивирующих растворов и летучих нефтепродуктов кратковременная и они не создают условий для химических реакций как в почве, так и на ее поверхности, которые бы способствовали нейтрализации радиоактивных веществ.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ дезактивации почвы, заключающийся в перепаживании зараженной радиоактивными веществами территории тракторными плугами на глубину до 20 см [1], который принят в качестве прототипа.

Недостатками известного способа дезактивации почвы являются то, что радиоактивный йод и изотопы стронция, представляющие большую опасность для здоровья и жизни, хотя и остаются под слоем почвы, но не нейтрализуются. Эти радиоактивные вещества могут оказаться на поверхности почвы и вместе с почвенной пылью переноситься ветром по воздуху, заражая большие площади соседних территорий. Кроме того, такие зараженные почвы длительное время не могут быть использованы в сельскохозяйственной деятельности.

Территория Беларуси после чернобыльской катастрофы загрязнена радиоактивной пылью в виде смеси, в частности, из радиоактивного йода [2] и изотопов стронция. Распад этих радиоактивных веществ может продолжаться десятки лет. Радиоактивный йод и изотопы стронция сосредоточены не только на пахотных землях, но и в лесах, на донных участках водоемов и т.д. Причем в силу сложности характера и сложившегося направления господствующих сезонных ветров и рельефа местности концентрация радиоактивных веществ на зараженных участках территории может быть различна: они больше накапливаются в зонах аэродинамических теней в складках рельефа с лесистой растительностью, в низинах, болотах, на донных участках озер и водоемов без проточной воды и т.п. То есть радиоактивные вещества переносятся с определенным постоянством по водным руслам и складкам рельефа водой и ветром. Поэтому необходимо использовать такое дезактивирующее вещество, которое бы по аналогичным путям перемещения могло быть доставлено водой и ветром в места скопления различных радиоактивных веществ, блокировать и нейтрализовать их. По существу на зараженных участках сосредоточены не разрозненные типы радиоактивных веществ, а их смеси с выброшенной из реактора пылью. Причем для каждого типа радиоактивного вещества необходимы только определенные виды дезактивирующих веществ и особенности среды, которые бы содействовали нейтрализации этих радиоактивных веществ, а это очень сложно реализовать на практике. Например, йод (I) плохо растворяется в воде и хорошо - в органических растворителях [3]. Поэтому частички йода, в том числе и радиоактивные, могут быть нейтрализованы нефтепродуктами. Стронций (Sr) относится к щелочно-земельным металлам [3]. Частички стронция с радиоактивными изотопами ^{90}Sr и ^{89}Sr сообщают воде щелочную реакцию. Нефтяные битумы в щелочной среде способны эмульгировать и создавать при этом жидкопластичную фазу, которая будет содействовать растворению в ней частичек йода и одновременно поглощать их вместе с ионами стронция. Такая комплексная взаимозависимость позволяет использовать нефтяной битум как универсальное дезактивирующее вещество для нейтрализации радиоактивного йода и изотопов стронция.

Традиционно нефтяные битумы применяются в различных отраслях строительства и промышленности только в жидкой фазе. Естественно, в таком виде битумы не могут быть применены как дезактивирующие вещества. Для этих целей может быть использовано только измельченное в порошок битумосодержащее сырье. Необходимые машины для измельчения битумосодержащего сырья (кровельные отходы, твердые сплавы некондиционных битумов и т.д.) имеются [4, 5], поэтому проблем для получения любого количества порошковых битумов не будет.

Для нейтрализации радиоактивного йода и изотопов стронция и уменьшения их вредного воздействия на окружающую среду необходимо в зараженную радиоактивными веществами почву вносить измельченное в порошок битумосодержащее сырье.

Предлагаемое изобретение позволяет в результате химической реакции и физико-механических воздействий нейтрализовать в почве радиоактивные частички йода и стронция и заключить их в битумную оболочку, обеспечив при этом обеззараживание от радиоактивных веществ окружающую природную среду.

BY 4021 C1

Задача, не решение которой направлено изобретение, состоит в том, чтобы разработать способ, включающий предварительное нанесение на зараженную радиоактивными веществами поверхность почвы измельченного порошкового битумосодержащего сырья с последующим перепахиванием и боронованием этой почвы;

измельченное порошковое битумосодержащее сырье наносят в смеси с известковой мукой;

после перепахивания поверхность почвы укрывают защитным слоем из порошкового битумосодержащего сырья;

измельченное порошковое битумосодержащее сырье наносят на зараженную радиоактивными веществами поверхность почвы распылением по воздуху авиационными средствами.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 изображены мицелла битума в почве с радиоактивным йодом и изотопами стронция во взаимодействии друг с другом от физико-механических усилий и химической реакции; на фиг. 2 изображена мицелла битума с поглощенными радиоактивными йодом и изотопами стронция; на фиг. 3 изображена последовательность нанесения порошкового битумосодержащего сырья на зараженную радиоактивными веществами поверхность почвы; на фиг. 4 изображен процесс механической обработки (перепахивание, боронование) слоя почвы с радиоактивными веществами вместе с порошковым битумосодержащим сырьем; на фиг. 5 изображен слой почвы с радиоактивными веществами вместе с порошковым битумосодержащим сырьем, укрытого защитным слоем из этого же порошкового битумосодержащего сырья.

Почва с радиоактивными веществами 1 содержит радиоактивные изотопы стронция 2 и йод 3. Наличие влаги в почве способствует возникновению химической реакции 4, которая вызывается частичками стронция. Частички битума представляют собой мицеллу 5 в виде оболочки из масел 6 с ядром из смол 7 и асфальтенов 8. При испарении водяных паров 9 из почвы создаются турбулентные потоки. Аналогичная турбулентность создается потоками проникающих атмосферных водных осадков 10 в слое почвы. Температурные деформации 11 в почве возникают при временных и сезонных колебаниях температуры наружного воздуха. Механическая обработка почвы приводит к возникновению волновых механических воздействий 12. Химическая реакция и физико-механические усилия создают условия для проникновения 13 радиоактивных йода и изотопов стронция в мицеллу битума. Порошковая битумосодержащая смесь 14 наносится на почву с радиоактивными веществами равномерным слоем. Обработка почвы с радиоактивными веществами осуществляется с помощью механических средств 15, которая затем укрывается защитным слоем 16 из порошкового битумосодержащего сырья.

Способ дезактивации почвы осуществляется следующим образом. Измельченные в порошок твердые нефтяные битумы или битумосодержащие кровельные отходы механизированным способом разбрасываются на поверхность почвы с радиоактивными веществами (фиг. 3) из расчета 0,06-0,08 кг/м². После чего производится механическая обработка этой почвы: пропашка, боронование и т.п. Измельчение битумосодержащего сырья и его разбрасывание на поверхность почвы с радиоактивными веществами целесообразно выполнять при температуре ниже +5 °С. В этом случае исключается слипание измельченных битумных частичек между собой и они равномернее наносятся на обрабатываемую поверхность почвы. Глубина перепахивания почвы с радиоактивными веществами вместе с порошковым битумосодержащим сырьем должна быть не менее 20 см.

Порошок из битумосодержащего сырья (из расчета 0,06-0,08 кг/м²) может быть предварительно перемешан с известковой мукой и вместе с ней нанесен с помощью известных механизмов на поверхность обрабатываемой почвы с радиоактивными веществами. При этом технология обработки почвы с радиоактивными веществами не отличается от традиционной, связанной с процессом известкования. И в этом случае глубина перепахивания почвы с радиоактивными веществами должна быть не менее 20 см. Известь, смешанная с порошковым битумосодержащим сырьем, меньше будет пылить при ее нанесении на почву, а битум в виде окатышей с прилипшей к нему известью не будет слеживаться. Такую смесь можно использовать всевозможным.

При сильном заражении почвы радиоактивными веществами прибегают к локальной срезке и удалению этой почвы с участков. Работа эта весьма сложная, а главное - обезображивается окружающая среда, которая может быть потом необратимой. Кроме того, на обнаженной поверхности грунта от зараженной почвы все равно могут оставаться радиоактивные вещества. Этот способ дезактивации почвы с большим содержанием радиоактивных веществ можно упростить без ущерба окружающей среды. Предварительно локально на поверхность почвы с большим содержанием радиоактивных веществ разбрасывается порошковое битумосодержащее сырье из расчета 1,0-1,2 кг/м². После чего эта почва перепахивается на глубину до 20 см и бороновается. При этом порошковое битумосодержащее сырье равномерно распределяется во взрыхленном слое почвы с радиоактивными веществами. Затем эта почва укрывается защитным слоем толщиной 5-8 см из порошкового битумосодержащего сырья (фиг. 5). Со временем из этого слоя сформируется прочная монолитная защитная корка из битумного сырья, которая обеспечит надежную изоляцию радиоактивных веществ от выветривания и переноса их поверхностной водой на соседние чистые участки.

BY 4021 C1

Порошковое битумосодержащее сырье из расчета $0,03-0,06 \text{ кг/м}^2$ может быть распылено над зараженными радиоактивными веществами массивами леса, низкими болотистыми местами, водоемами, сложными складчатыми рельефами и т.п. по воздуху с помощью авиации. Небольшая плотность нефтяных битумов ($1,0-1,4 \text{ т/м}^3$) позволяет рационально загрузить ими грузовые отсеки авиационных средств и за один рейс разбросать битумосодержащие порошковые смеси над большой площадью территории с радиоактивными веществами. Причем эти операции целесообразно выполнять зимой. При низких температурах битумный порошок лучше распыляется по воздуху и равномернее рассредотачивается на обрабатываемой поверхности почвы. Отсутствие листвы на деревьях и кустарниках обеспечивает хороший доступ порошкового битумосодержащего сырья к почве с радиоактивными веществами. А весной паводковые воды доставят этот дезактивирующий порошок в места наибольших скоплений радиоактивных веществ.

В качестве исходного сырья для получения битумных порошковых смесей необходимо использовать битумосодержащие кровельные отходы образующиеся, например, при ремонте рубероидных кровель на совмещенных крышах. Так, в Беларуси во всех городах ежегодно ремонтируется более $1,1 \text{ млн.м}^2$ совмещенных крыш с полным удалением с них старых кровельных ковров и заменой новыми кровлями. При средней толщине удаляемых с крыш слоев кровли $3-6 \text{ см}$ годовой объем битумосодержащих отходов составляет ($1,1 \text{ млн.м}^2 \times 0,04$) $44-45 \text{ тыс.м}^3$. При объемной массе битумосодержащего сырья 1300 кг/м^3 ежегодно сжигается или выбрасывается в отвал более (44000×1300) $57-58 \text{ тыс.т}$ (около 1000 вагонов) дефицитного битума и других наполняющих компонентов. Применяя только измельченные битумосодержащие кровельные отходы в качестве дезактивирующих добавок, можно будет обезвреживать почву от радиоактивных веществ на площади до 73 тыс.га ежегодно.

Нефтяной битум рассматривается как коллоидная система мицеллярного строения с ядром из асфальтенов, стабилизированных смолами в масляной дисперсной среде [6]. Структура битума представляет собой коагуляционную сетку-каркас из асфальтенов, находящихся в слабоструктурированной смолами дисперсной среде. Асфальтены, составляющие сетку ядра, взаимодействуют друг с другом полярными лиофобными участками через тонкие прослойки дисперсной среды. На лиофильной поверхности адсорбируются смолы [7]. Содержание масел в битумах достигает $50-60 \%$. Плотность этих масел меньше единицы, они представляют собой хорошую изолирующую среду, в оболочке которой заключены смолы и асфальтены с плотностью более единицы и могут являться хорошими растворителями частичек, в частности йода. Масла придают битумам упругопластичные свойства, которые могут сохраняться даже при отрицательных температурах. Например, твердые нефтяные битумы Полоцкого завода [7] сохраняют эти свойства до температуры $-2...-12 \text{ }^\circ\text{C}$. Благодаря этим качествам битума последний лучше эмульгируется, например в щелочной водной среде, поглощая в результате щелочной реакции своими мицеллами вещества, образующими эту щелочную среду, а также содержащиеся в ней другие вещества, растворимые маслами нефтебитума. Причем активность эмульгирования битума в щелочной водной среде возрастает при механических волновых воздействиях на них или турбулентными потоками воды, или водяными парами [8], создающими условия периодического перемешивания (столкновения) частичек битума с частичками щелочных металлов и других примесей друг с другом. Кроме того, битум лучше поддается эмульгированию в водной щелочной среде, когда сам начинает насыщаться водой и набухать, переходя в жидкопластичную фазу. Битумы с годами сами по себе могут медленно набухать и поглощать в себя воду [8]. А такая среда создается, например, в толще влажной почвы или грунта, находящихся в естественно-залегающем состоянии. Образующиеся битумно-щелочные эмульсии-сгустки формируются в виде объединенных друг с другом битумных мицелл, внутри которых под масляными изолирующими оболочками сосредотачиваются более тяжелые асфальтены, смолы, щелочные металлы и другие тяжелые частички. Иными словами, в конкретном рассматриваемом случае взаимосвязь частичек стронция, создающих щелочную водную среду, битума, приобретающего в этой среде жидкопластичную фазу, и йода, растворяющегося в маслах этого нефтебитума, образуют единую коллоидную систему по типу золь-гель, обеспечивающих слипание частичек друг с другом в виде прочных сгустков.

Во влажной почве 1 с радиоактивными веществами частички стронция 2 образуют щелочную реакцию 4, которая приводит к эмульгированию в щелочной среде битума представляющего собой коллоидную систему из мицелл 5. Образующееся в результате щелочной реакции жидкопластичное состояние масляной оболочки 6 мицеллы битума способствует растворению в ней частичек йода 3, которые вместе с ионами стронция проникают 13 в мицеллу битума и устремляются к его ядру, состоящему из смол 7 и асфальтенов 8 (фиг. 1). Причем активность химической реакции и соответственно внедрения частичек стронция и йода в мицеллы битума могут возрастать в результате побочных физико-механических воздействий на среду взаимодействия этой коллоидной системы. Это может происходить: при механических воздействиях 12, связанных с механической обработкой (перепахивание, боронование и т.п.) почвы с радиоактивными веществами; при температурных деформациях 11 слоев почвы, возникающих при смене температур в течение суток и сезонов года при испарении водяных паров 9 и проникающих в слои почвы атмосферных водных осадков 10, создающих в совокупности турбулентные потоки. Таким образом, различные механические воздействия совместно со щелочной реакцией вызывают постоянные колебания коллоидной системы, способствуя столкновениям и

BY 4021 C1

внедрению частичек стронция с их радиоактивными изотопами ^{90}Sr и ^{89}Sr и радиоактивного йода в масляную дисперсную среду мицелл нефтебитума. Внутри мицелл частички стронция и йода адсорбируются на лиофильных поверхностях асфальтенов в ядре мицелл (фиг. 2). Со временем частички стронция и йода могут быть закупорены в ячейках асфальтовых каркасов адсорбирующимися смолами, находящимися в этой же дисперсной масляной среде битумной мицеллы, которые создадут надежную изолирующую оболочку над радиоактивными изотопами стронция и йода. Эти смеси битумов с минеральными веществами (в том числе радиоактивными) сформируют долговечные и прочные асфальтены, способные изолировать на тысячелетия [8] радиоактивные изотопы стронция и йода от воздействия их на окружающую среду.

При дезактивации пахотной почвы с радиоактивными веществами дезактивирующим порошковым битумосодержащим сырьем 14 и механической обработке этой почвы тракторными плугами и боровами 15 (или другим землеобрабатывающим навесным оборудованием) происходит равномерное рассредоточение мелких битумных частичек в почве с радиоактивными веществами (фиг. 3 и 4). Поскольку в количественном отношении содержание битумных частичек на 1 м^2 дезактивируемой поверхности почвы с радиоактивными веществами (даже при минимальном расходе порошкового битума - $0,03-0,06\text{ кг/м}^2$) намного превосходит содержание радиоактивных стронция и йода, то контакты дезактивирующих частичек с этими радиоактивными веществами неизбежны. Тем более, что вокруг частичек стронция во влажной почве будут создаваться гораздо большие по объему водно-щелочные сферы-оболочки (чем сами частички стронция), которые обязательно встретятся с частичками битума и будут вызывать химическую реакцию, способствующую взаимодействию стронция-битума-йода с образованием из них прочных сгустков с нейтрализованными и блокированными в них радиоактивных веществ. Такие почвы с нейтрализованными в них радиоактивными веществами могут обрабатываться в обычном сельскохозяйственном режиме севооборота.

На участках почвы с большой концентрацией радиоактивных веществ предварительно локально на поверхности наносится несколько большее количество порошкового битумосодержащего сырья ($1,0-1,2\text{ кг/м}^2$). После перепахивания и боронования почвы с радиоактивными веществами и порошковым битумом частички последнего своей массой будут способны поглотить радиоактивные изотопы стронция и йода и незамедлительно вступать с ними в химическую реакцию во влажной среде почвы. А защитный слой 16 из этого же дезактивирующего порошкового битумосодержащего сырья (фиг. 5) толщиной 5-8 см со временем сформирует над зараженными радиоактивными веществами участками прочную корку (от солнечной тепловой энергии порошковый битум постепенно пластифицируется и превратится в монолит), которая защитит эти участки от выветривания и распространения радиоактивных веществ на чистые соседние участки. Причем частички битума защитного слоя также вступят в поверхностную реакцию с частичками стронция и йода сосредоточенными на поверхности укрываемой почвы с радиоактивными веществами, нейтрализуют и блокируют их. Устройство защитного слоя 16 из порошкового битумосодержащего сырья технологично, позволяет использовать известные механизмы и не требует капитальных затрат. Кроме того, при этом не нарушается целостность окружающей природной среды. Процесс нейтрализации и блокирования радиоактивных веществ в битуме будет происходить при непрерывной и нарастающей химической реакции. Уровень снижения радиоактивного фона над зараженными участками должен периодически контролироваться дозиметрами.

Распыление порошкового битумосодержащего сырья с помощью авиации над труднодоступными местами позволит нейтрализовать и блокировать радиоактивные вещества в местах их максимального скопления. При воздушном распылении дезактивирующих битумных порошков расход их может составлять $0,03-0,06\text{ кг/м}^2$. В силу природных факторов (господствующее направление ветра, рельеф местности, определенное направление стоков воды и т.п.) наибольшее скопление радиоактивных веществ в результате их направленного переноса наблюдается в низинах, в складках рельефа, густой растительности, на донных участках водоемов, озер, болот и т.п. В этих местах (с постоянно высокой влажностью) щелочи стронция создают в водном растворе большую концентрацию ионов, которые в результате химической реакции будут поглощаться вместе с частичками йода мицеллами битума, превращаясь в сгустки, а затем в прочные и долговечные асфальты. Активность химической реакции (а это в основном поверхностная реакция, протекающая на почве или донных участках с радиоактивными веществами) возрастает при физико-механических воздействиях: температурные деформации, воздушные перемещения, турбулентность водо-паров и т.п. И в этом случае дезактивирующее порошковое битумосодержащее сырье количественно будет превышать содержание радиоактивных веществ в местах их скопления и своей массой поглотят их, превращаясь в асфальты. Воздушное распыление дезактивирующих порошковых битумов над загрязненными радиоактивными веществами лесами, лугами, водоемами и т.п. позволит в короткое время вернуть их в традиционный оборот жизнедеятельности людей.

Битумы человечество в своем быту применяет тысячелетиями [8], они безвредны для здоровья и использование их в качестве дезактивирующего средства не нанесет урона окружающей среде, а позволит ее в короткие сроки, с минимальными затратами оздоровить и вернуть людям. Причем для производства дезактивирующего порошкового битумосодержащего сырья можно обойтись только рубероидными кровельными отходами или некондиционными битумами, которых всегда в избытке на предприятиях (заводы по переработке нефте-

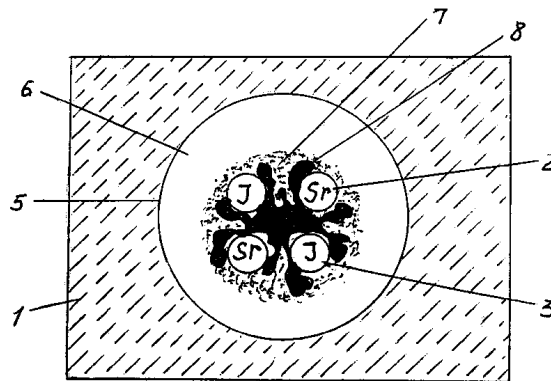
ВУ 4021 С1

продуктов, заводы по выпуску рубероида и др.). Если ориентироваться только на все эти отходы, которые образуются в стране, то ежегодно в Беларуси можно будет обезвреживать от радиоактивных веществ более 300-500 тыс.га земли. Попутно применяются и сами битумные отходы, что также будет сказываться на улучшении экологии.

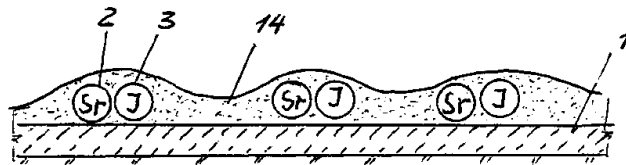
Предлагаемый способ дезактивации почвы не требует капитальных затрат, ориентирован на доступные и дешевые дезактивирующие битумные материалы и может быть применен по существу немедленно, что позволит получить большой экономический эффект, связанный с оздоровлением окружающей среды, земельных угодий с включением их в нормальную хозяйственную деятельность. Главный же эффект - снижается смертоносное воздействие радиоактивных веществ на здоровье и жизнь людей.

Источники информации:

1. Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г. и др. Гражданская оборона. - М.: Высшая школа, 1980. - С. 161 (прототип).
2. Зеленкевич И. Мой главный принцип - не навредить // Советская Белоруссия. - № 60 от 2.04.1997. - С. 1-2.
3. Советский энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1989. - С. 505, 1293.
4. Заявка 950045 от 31.01.95. Барабанный измельчитель-смеситель. Белгоспатент.
5. Дулинец Л. Для ремонта рулонной кровли // Строительная газета (Россия). - № 43 от 25.10.96.
6. Козловская А.А. Полимерные и полимербитумные материалы для защиты трубопроводов от коррозии. - М.: Стройизд., 1971. - С. 10, рис. 1.
7. Кисина А.М., Куценко В.И. Полимербитумные кровельные и гидроизоляционные материалы. - Л.: Стройизд., 1983. - С. 10-14, табл. 4.
8. Попченко С.Н. Справочник по гидроизоляции сооружений. - Л.: Стройиздат, 197. - С. 21, с. 6.

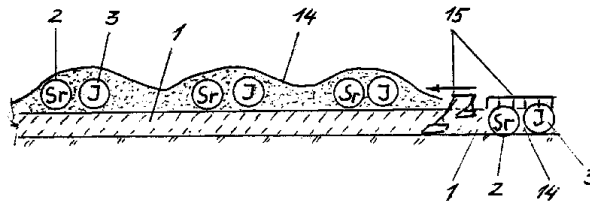


Фиг. 2

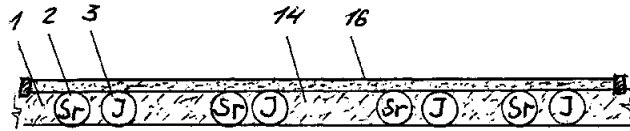


Фиг. 3

BY 4021 C1



Фиг. 4



Фиг. 5