

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ПОСЛЕ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

А.П. Скворцов

apskvortsov@mail.ru
SPIN-код: 7786-2086

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме загрязнения нефтепродуктами территорий непосредственного пролегания нефтепроводов, а также территорий автозаправочных станций и стоянок автомобилей, где в почву попадают масло, бензин и другие технические вещества. Показано, какие опасные процессы реализуются в результате разлива нефти и нефтепродуктов, какой вред почве это наносит и к каким последствиям это может привести. Обобщена статистика аварий в нефтяном секторе, связанных с выходом нефти и нефтепродуктов в окружающую среду. Указаны основные причины возникновения аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с распределением причин разливов по годам. Даны нормативы содержания нефти и нефтепродуктов в почве и градиция уровней загрязнения. Перечислены известные способы ликвидации аварийных разливов, выполнен их краткий анализ. Особо выделен физико-химический (флотационный) способ очистки почвы от нефти и нефтепродуктов, представлен предварительный вид установки для реализации данного способа, описан технологический процесс флотации.

Ключевые слова

Загрязнение почв, нефть, нефтепродукты, аварийный разлив, способы очистки, опасность, флотация, вред, физико-химический метод, ликвидация загрязнения

Поступила в редакцию 24.01.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Вред разливов нефти и их последствия. Любая авария, связанная с разливом нефти и нефтепродуктов, наносит значительный урон экологической ситуации в районе возникновения этого происшествия, кроме того, может пострадать и население. Также существует большая вероятность самовозгорания большого нефтяного пятна. Даже при современном уровне оборудования, в том числе предназначенного для ликвидации подобных аварий, разливы нефти по своим масштабам относятся к страшнейшим техногенным катастрофам.

Разрушительная энергия аварийных разливов нефти может приравняться к стихийному бедствию общепланетарной опасности, которое ведет к экологическим проблемам, таким как изменение состава почвы и воды вплоть до уничтожения целых популяций животных, отравление, гибель организмов и деградацию почв, а также вызывает негативные экономические и социальные последствия.

Нефть, попадая в почву, опускается вертикально вниз под влиянием гравитационных сил и распространяется вширь под действием поверхностных и капиллярных сил. Скорость продвижения нефти зависит от ее свойств, вида грунта и соотношения нефти, воздуха и воды в многофазной движущейся системе. Первостепенное значение при этом имеют тип нефти, ее количество, характер нефтяного загрязнения. Чем меньше доля нефти в такой системе, тем труднее ее фильтрация (миграция) в грунте. В ходе этих процессов насыщенность грунта нефтью (при отсутствии новых поступлений) непрерывно снижается. При содержании в грунте 10...12 % нефти она становится неподвижной [1].

Движение прекращается также при достижении нефтью уровня грунтовых вод. Нефть начинает перемещаться в направлении уклона поверхности грунтовых вод. Для предотвращения миграции разлитой нефти бурят серию скважин и извлекают загрязненные грунтовые воды. В некоторых случаях на пути движения грунтовых вод ставят водонепроницаемый барьер (резиновые гидроизолирующие мембраны). Нефть, скопившуюся около барьера, удаляют с помощью специального оборудования.

Проявление капиллярных сил хорошо прослеживается при значительной проницаемости и пористости грунта. Пески и гравийные грунты, например, благоприятны для миграции нефти; глины и илы неблагоприятны.

В горных породах нефть движется в основном по трещинам.

Нефть — это жидкий природный раствор, состоящий из большого числа углеводородов разнообразного строения и высокомолекулярных смолисто-асфальтеновых веществ. В нем растворено некоторое количество воды, солей, микроэлементов.

При выходе нефти в окружающую среду вода и почва загрязняются углеводородами, входящими в ее состав. В то же время происходят процессы, приводящие к разложению нефти: распространение, испарение и растворение. Попадание нефти и нефтепродуктов в почву приводит к уменьшению ее биологической продуктивности, а также снижению продуктивности и угнетению фитомассы растительного покрова [2].

Выживаемость растений в загрязненных нефтью почвах зависит от глубины проникновения корней. Нефтяное загрязнение разрушает структуру почвы, изменяет ее физико-химические свойства: резко снижается водопроницаемость, увеличивается соотношение между углеродом и азотом (за счет углерода нефти), что приводит к ухудшению азотного режима, нарушению корневого питания растений. Загрязнение почвы нефтью может оказать пагубное влияние на человека через пищевые цепи.

Срок восстановления (саморекультивации) почв, загрязненных нефтью, составляет от 1–2 до 10–15 и более лет.

Естественное самоочищение природных объектов от нефтяного загрязнения — длительный процесс, особенно в условиях, где долгое время сохраняется пониженный температурный режим [1]. На основе данных, представленных в ежегодных отчетах о деятельности Федеральной службы по экологическому, техно-

логическому и атомному надзору, в табл. 1 сформирована статистика аварий в нефтяном секторе, связанных с выходом нефти и нефтепродуктов в окружающую среду [3].

Таблица 1

Статистика аварий в нефтяном секторе, связанных с выходом нефти и нефтепродуктов в окружающую среду

Объект	Число аварий в год				
	2014	2015	2016	2017	2018
Объекты нефтедобычи	15	11	6	13	8
Нефтеперерабатывающие, нефтепродукто-обеспечивающие, нефтехимические объекты	6	2	7	4	1
Магистральные нефтегазопроводы	0	2	3	1	2

В результате анализа статистики становится очевидным, что аварийный выход нефти и нефтепродуктов характерен для нефтяного комплекса. Соответственно, актуальным является решение задач, связанных со снижением влияния таких происшествий на окружающую среду, в частности на почву.

Причины аварий. Аварийные выходы нефти и нефтепродуктов в окружающую среду связаны главным образом с увеличением числа чрезвычайных ситуаций, которое обусловлено ростом добычи нефти, износом основных производственных фондов (в частности, трубопроводного транспорта), а также диверсионными актами на объектах нефтяной отрасли. Причинами аварий, не связанных с диверсионными актами, являются в основном внутренние опасные факторы, обусловленные разгерметизацией и разрушением технических устройств, ошибки персонала, вызванные нарушением требований организации и производства опасных видов работ, организации работ по обслуживанию оборудования [4].

Причины аварийных разливов нефти и нефтепродуктов распределяются по годам следующим образом.

2018: внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств, — 4; ошибки персонала, обусловленные нарушением требований организации и производства опасных видов работ, организации работ по обслуживанию оборудования, — 6.

2017: внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств, — 10; ошибки персонала, вызванные нарушением требований организации и производства газоопасных, огневых и ремонтных видов работ, а также организации работ по обслуживанию оборудования, — 9.

2016: внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств, — 10; ошибки персонала, обусловленные нарушением требований организации и производства опасных видов работ, организации работ по обслуживанию оборудования, — 8.

2015: внутренние опасные факторы, связанные с отказом и разгерметизацией технических устройств, нарушением технологии производства работ, — 13; ошибки персонала, вызванные нарушением требований организации и производства опасных работ, — 6.

2014: внутренние опасные факторы, связанные с отказом и разгерметизацией технических устройств, нарушением технологии производства работ, — 14; ошибки персонала, обусловленные нарушением требований организации и производства опасных работ, — 4.

Также распределение количества аварий по годам в зависимости от вида причины представлено в табл. 2 [3].

Таблица 2

Распределение причин аварийных разливов нефти и нефтепродуктов

Причина	Число аварий в год				
	2014	2015	2016	2017	2018
Внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств	14	13	10	10	4
Ошибки персонала, вызванные нарушением требований организации и производства опасных видов работ, организации работ по обслуживанию оборудования	4	6	8	9	6

Загрязнение почвы и нормативы. Почвы считаются загрязненными нефтью и нефтепродуктами, если их концентрация достигает уровня, при котором [5]:

- начинается угнетение или деградация растительного покрова;
- нарушается экологическое равновесие, исчезают виды альгофлоры, мезофауны;
- изменяются водно-физические свойства и структура почв;
- заметно возрастает доля углерода нефтепродуктов в некарбонатном (органическом) углероде почв;
- падает продуктивность сельскохозяйственных земель;
- происходит вымывание нефтепродуктов из почв в подземные и поверхностные воды.

Безопасным уровнем загрязнения почвогрунтов нефтепродуктами рекомендуют считать уровень, при котором ни одно из негативных последствий, перечисленных выше, не наступает вследствие загрязнения почвы нефтепродуктами. Для каждого района существует свой региональный геохимический фон содержания углеводородов в почвах, попавших в нее из атмосферы или с дождевыми и тальными стоками. Этот фон изменяется в довольно широких пределах и составляет от 10 до 500 мг на 1 кг сухого веса почвы или грунта.

Нормальными уровнями показателей состояния почвы принимают такие уровни, которые обеспечивают выполнение почвой своих основных функций и не приводят к негативному воздействию на сопредельные среды, растения и человека.

Для определения интенсивности загрязненности почвы используют различные методы градации и количественные уровни загрязнения [5].

На данный момент в России в качестве порогового принято условное значение концентрации нефтепродуктов в почве 1000 мг/кг; при превышении данного значения почву можно отнести к категории загрязненных по этому показателю (табл. 3).

Таблица 3

Классификация уровней загрязнения почвогрунтов по содержанию нефтепродуктов

Уровень загрязнения, мг/кг	Содержание нефтепродуктов	
	мг/кг	%
Допустимый	Менее ПДК	Менее 0,1
Низкий	1 000 – 2 000	0,1 – 0,2
Средний	2 001 – 3 000	0,2 – 0,3
Высокий	3 001 – 5 000	0,3 – 0,5
Очень высокий	Более 5 000	Более 0,5

По глубине проникновения нефтепродукта различают следующие типы загрязненных почв (табл. 4).

Таблица 4

Классификация уровней загрязнения почвогрунтов по глубине проникновения нефти

Глубина проникновения нефти, м	Классификация загрязненности
Менее 0,15	Поверхностное замазучивание
0,15 – 0,30	Мелкопрофильное замазучивание
0,30 – 0,60	Среднепрофильное замазучивание
Более 0,60	Глубокопрофильное замазучивание

Ликвидация разливов и их последствий в почве. Существует множество способов, направленных на ликвидацию аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и очистку загрязненной почвы. На сегодняшний день наиболее распространенным является микробиологический способ очистки, однако он не является совершенным, кроме того, исследуются перспективные физико-химические способы очистки почвы.

Каждый способ имеет свои особенности, в зависимости от которых определяется уместность применения того или иного способа в конкретном случае аварийного разлива. Рассмотрим эти способы более подробно.

Механические способы очистки почвы. Они являются предварительными и позволяют снимать слой нефти, оставляя на поверхности пленку, которую после удаляют другими способами. Механические способы удаления загрязнений являются простейшими и наиболее универсальными способами очистки массивов от любых загрязнений, однако по сути они являются лишь перенесением загрязнителя из массива в другое место или предварительным (вспомогательным) этапом для других способов очистки. Эти способы наиболее эффективны в самом начале разлива (в первые его часы) поскольку толщина нефтяного слоя в этот момент максимальна. Еще одним недостатком метода является необходимость дальнейшей утилизации большого объема пород или почв.

Физические способы очистки почвы. *Электрохимическая очистка* происходит благодаря тому, что в процессе движения электрического тока сквозь почву осуществляются электролиз воды, электрокоагуляция, реакции электрохимического окисления и электрофлотации. Качественный уровень обеззараживания почвы при электрохимической очистке приближается к 100 % (минимальный показатель — 95 %). Таким способом можно удалять из почвы такие вредные элементы, как ртуть, свинец, мышьяк, кадмий, цианиды и др. К недостаткам способа можно отнести достаточно высокую стоимость (100...250 долл. США за 1 м³ почвы).

Электрокинетическая очистка может успешно применяться для глинистых и суглинистых почв, насыщенных влагой частично или полностью. Эта технология основана на применении таких процессов, как электрофорез и электроосмос. Для реализации способа требуется применение химических реактивов или растворов поверхностно-активных веществ.

Эффективность электрокинетической очистки почвы составляет 80...99 %, ее стоимость несколько ниже, чем стоимость электрохимической очистки (100...170 долл. США за 1 м³ почвы).

Химические способы очистки почвы. Технологии химической очистки почвы подразумевают использование растворов поверхностно-активных веществ или сильных окислителей (активный кислород и хлор, щелочные растворы). *Способ промывки* применяется в основном для очистки почвы от нефти и нефтепродуктов, он также эффективен для удаления поверхностных водорастворимых соединений. Эффективность при промывке составляет до 99 %.

После того как почва очищена, можно проводить ее рекультивацию.

В качестве недостатков этого способа очистки почвы можно отметить длительные сроки (1–4 года в среднем) и значительное количество загрязненной воды, которую тоже приходится очищать перед выбросом в окружающую среду. Для промывки требуется много пресной воды.

Химическая локализация загрязнителей состоит в создании защитных экранов с помощью химически активных веществ. Этот способ также является временным, поскольку ликвидации или удаления загрязнителей из грунта при этом не происходит, они лишь «консервируются» в массиве на определенное время.

Биологические способы очистки почвы. Используются после применения механических способов. Толщина удаляемого слоя должна быть не меньше 0,1 мм.

Технология очистки засоренных вредными веществами почв способом **фитоэкстракции** — это выращивание определенных видов растений на загрязненных участках грунта.

Для удаления подавляющего количества указанных элементов из почвы нужно обеспечить несколько циклов растительных культур. По окончании процесса фитоэкстракции растения следует собрать и сжечь. Полученный после сжигания пепел считается вредными отходами и подлежит утилизации.

Биоремедиация — целенаправленное усиление активности специфической микрофлоры почвы, которая занимается разложением нефти, или добавление определенных микробных культур в почву. В результате создаются благоприятные условия для микроорганизмов, которые осуществляют утилизацию нефтепродуктов и нефти. Биоремедиация включает в себя два основных подхода.

1. **Биостимуляция** — стимуляция локального почвенного биоценоза, активизацию деградирующей способности аборигенной микрофлоры внесением биогенных элементов, кислорода, различных субстратов. Для активизации углеводородоокисляющей способности почвенной микрофлоры бывает достаточно провести агротехнические мероприятия, внести в почву различные добавки, выполняющие роль стимуляторов и соокислителей при деградации углеводородов.

2. **Биодополнение** — интродукция природных и генноинженерных штаммов-деструкторов чужеродных соединений, использование специально отобранных микроорганизмов. Количество живых микроорганизмов, которые могут ассимилировать углеводородные соединения, довольно мало. В основном это бактерии рода *Pseudomonas*, а также некоторые виды дрожжей и грибов. Как правило, такие микроорганизмы-нефтедеструкторы — жесткие аэробы [6].

С помощью биостимулирования и использования биопрепаратов можно удалить до 90...98 % нефтезагрязнений в почвенной среде. Оставшиеся углеводороды более устойчивы к биологическому разложению, но инертны и малоопасны для окружающей среды.

Недостатком биоремедиации является необходимость вспашки почвы перед внесением биопрепарата, внесения других минеральных веществ и других мероприятий с почвой. Кроме того, при низкой температуре бактериальное окисление происходит медленно, и нефтепродукты могут оставаться в водоемах длительное время (до 50 лет).

Недостатками биологических способов является также то, что зачастую трудно с достаточной степенью точности предугадать результат и нет полной уверенности в достижении гарантированного эффекта. Кроме того, их реализация занимает долгое время. Хотя при этом имеется ряд примеров успешного применения этого способа при длительной обработке загрязненных грунтов и почвы.

Существует также множество других своеобразных и изощренных способов очистки почвы от загрязнений нефтью и нефтепродуктами (например, упомянутые выше механические способы и последующее захоронение отходов, термический способ и др.).

Хотя значимость всех вышеупомянутых способов очистки почв трудно переоценить, отметим, что большинство методов имеют ограничения в применении,

связанные с типом грунтов и пород, видом и интенсивностью загрязнений, температурными погодными условиями. Иные недостаточно эффективны или по сути представляет собой не очистку, а локализацию и консервирование загрязнений (механические способы). Некоторые способы достаточно эффективны, но последствием их применения является изменение свойств и структуры пород.

Физико-химический способ — флотация. Кроме таких преимуществ способа, как быстрота процесса, бесшумность, высокая эффективность, возможность утилизации извлекаемых компонентов, необходимо отметить экономическую целесообразность применения данного метода очистки в России. Различного вида флотационные машины достаточно долго используются на большинстве обогатительных заводов нашей страны. Производство аппаратов налажено, приобретены навыки работы с ними, успешно ведется модернизация существующих флотомашин, что важно для экономической стороны вопроса [7, 8].

Также важным преимуществом использования предлагаемой техники является ее мобильность и возможность размещения даже в заболоченной местности, а также в северных районах страны, где использование многих способов, особенно микробиологических технологий затруднено или невозможно. В основу флотационного способа по очистке почвы от нефтепродуктов положен физико-химический процесс очистки почвы. Сущность этого способа состоит в аэрировании очищаемой суспензии пузырьками воздуха.

Флотация — это процесс выделения мелкодисперсных загрязнений из воды с диспергированными пузырьками воздуха. Извлечение мелкодисперсных частиц из жидкости, в которой они находятся во взвешенном или коллоидальном состоянии, происходит в результате прилипания частиц к пузырькам газа (воздуха), образующимся в жидкости или введенным в нее. Прикрепившиеся к пузырькам воздуха, частицы всплывают на поверхность, образуя пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной жидкости. Вместе с тем пена должна прочно удерживать всплывающие частицы, не допуская их выпадения обратно в жидкость, что может обеспечиваться введением в раствор поверхностно-активных веществ [6].

Технологический процесс очистки почвы включает в себя приготовление суспензии путем смешивания ее с чистой водой и реагентами, а также физико-химическую отмывку [9].

После многостадийного процесса очистки во флотомашине загрязненная почва обезвоживается. После обезвоживания очищенная почва с влажностью 70...90 % сбрасывается на рельеф. Система флотационной очистки может быть оснащена системой оборотного водопользования, что значительно снижает объемы воды, используемой в технологическом процессе.

К недостаткам этого способа относятся повышенные энергозатраты, а также изменение некоторых свойств очищаемой почвы. При флотационном способе очистки почва лишается гумусовой составляющей, однако в очищенной таким образом почве сохраняется достаточное количество минералов для произрастания газона. При этом к очищенной почве можно добавлять удобрения, таким образом

повышая ее плодородие. Главным здесь является тот факт, что почва уже обезврежена от токсичной составляющей, которой являются нефтепродукты [10].

Заключение. В статье показано, какой вред приносит повсеместное загрязнение почвы нефтепродуктами и какими последствиями для почвы чреваты загрязнения. Рассмотрено множество способов устранения причиняемого загрязнения и ликвидации последствий попадания нефтепродуктов в почву. Среди всех рассмотренных способов наиболее конкурентоспособными являются биологический и флотационный. Проведя сравнение этих основных способов, можно сделать вывод о наибольшей эффективности и конкурентоспособности флотации, поэтому этот процесс рассматривается наиболее подробно. Таким образом, флотационный способ очистки обладает рядом неоспоримых преимуществ и должен занять одно из ведущих мест в данном секторе природоохранных мероприятий.

Литература

- [1] Бондалетова Л.И. Промышленная экология. Томск, ТПУ, 2002.
- [2] Загрязнение почвы нефтепродуктами. *oblasti-ekologii.ru: веб-сайт*. URL: <https://oblasti-ekologii.ru/ecology/himicheskoe-zagryaznenie-pochvy/nefteproduktami> (дата обращения: 11.11.2019).
- [3] Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. *gosnadzor.ru: веб-сайт*. URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports
- [4] Тучкова О.А., Гасилов В.С. Разливы нефти и нефтепродуктов. Ч. 1. Основные положения разработки Планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. *Вестник технологического университета*, 2016, т. 19, № 21, с. 69–72.
- [5] Уровни загрязнения почв нефтепродуктами. *helpiks.org: веб-сайт*. URL: <https://helpiks.org/8-14314.html> (дата обращения: 15.11.2019).
- [6] Ксенофонтов Б.С. Основы микробиологии и экологической биотехнологии. М., Форум, Инфра-М, 2019.
- [7] Matis K.A., ed. Flotation science and engineering. New York, Marcel Dekker, 1995.
- [8] Ксенофонтов Б.С. Очистка воды и почвы флотацией. М., Новые технологии, 2004.
- [9] Ксенофонтов Б.С. Флотационная очистка сточных вод. М., Новые технологии, 2003.
- [10] Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: кинетика флотации и флотокомбайны. М., Форум, Инфра-М, 2019.

Скворцов Андрей Павлович — студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Таранов Роман Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Скворцов А.П. Способы очистки почвы после аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 02(43). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-02-580>

METHODS OF SOIL CLEANING AFTER ACCIDENTAL SPILLS OF OIL AND OIL PRODUCTS

A.P. Skvortsov

apskvortsov@mail.ru

SPIN-code: 7786-2086

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the urgent problem of oil products contamination of territories directly passing oil pipelines, as well as territories of gas stations and car parks where oil, gasoline and other technical substances enter the soil. It is shown which dangerous processes are realized as a result of the spill of oil and oil products, what damage it causes to the soil and what consequences it can lead to. The statistics on accidents in the oil sector related to the release of oil and oil products into the environment are summarized. The main causes of accidental spills of oil and oil products with the distribution of causes of spills by year are indicated. The standards for the content of oil and oil products in the soil and the gradation of pollution levels are given. Known methods for responding to emergency spills are listed, and a brief analysis is performed. The physicochemical (flotation) method of cleaning the soil from oil and oil products is especially highlighted, a preliminary view of the installation for implementing this method is presented, the flotation process is described.

Keywords

Soil pollution, oil, oil products, emergency spill, cleaning methods, danger, flotation, harm, physicochemical method, elimination of pollution

Received 24.01.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

References

- [1] Bondaletova L.I. Promyshlennaya ekologiya [Industrial ecology]. Tomsk, TPU Publ., 2002 (in Russ.).
- [2] Zagryaznenie pochvy nefteproduktami [Soil pollution by oil products]. *oblasti-ekologii.ru: website* (in Russ.). URL: <https://oblasti-ekologii.ru/ecology/himicheskoe-zagryaznenie-pochvy/nefteproduktami> (accessed: 11.11.2019).
- [3] Ezhegodnye otchety o deyatelnosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Annual reports on activity of the Federal agency on environmental, engineering and atomic supervision]. *gosnadzor.ru: website*. URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (in Russ.).
- [4] Tuchkova O.A., Gasilov V.S. Spill of oil and petroleum products. P. 1. Main principles of developing plans for prevention of and response to spill of oil and petroleum products. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2016, vol. 19, no. 21, pp. 69–72 (in Russ.).

- [5] Urovni zagryazneniya pochv nefteproduktami [Levels of soil pollution by oil products]. *helpiks.org: website* (in Russ.). URL: <https://helpiks.org/8-14314.html> (accessed: 15.11.2019).
- [6] Ksenofontov B.S. *Osnovy mikrobiologii i ekologicheskoy biotekhnologii* [Fundamentals of microbiology and environmental biotechnology]. Moscow, Forum Publ., Infra-M Publ., 2019 (in Russ.).
- [7] Matis K.A., ed. *Flotation science and engineering*. New York, Marcel Dekker, 1995.
- [8] Ksenofontov B.S. *Ochistka vody i pochvy flotatsiy* [Purification of water and soil cleanup by flotation]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2004 (in Russ.).
- [9] Ksenofontov B.S. *Flotatsionnaya ochistka stochnykh vod* [Flotation purification of wastewater]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2003 (in Russ.).
- [10] Ksenofontov B.S. *Ochistka stochnykh vod: kinetika flotatsii i flotokombayny* [wastewater purification: flotation kinetics and flotomachine]. Moscow, Forum Publ., Infra-M Publ., 2019 (in Russ.).

Skvortsov A.P. — Student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Taranov R.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Skvortsov A.P. Methods of soil cleaning after accidental spills of oil and oil products. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 02(43). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-02-580.html> (in Russ.).