

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРЮЧЕСТИ СИСТЕМЫ "ПОЧВА – НЕФТЕПРОДУКТЫ"

Экспериментально определены концентрации различных нефтепродуктов в почвах, при которых система "почва – нефтепродукт" становится горючей. Показано, что системы "почва – нефтепродукты" могут быть горючими при очень незначительной доле заполнения порового пространства почв горючими жидкостями. Горючесть таких систем должна оцениваться по показателям, принятым для твёрдых горючих веществ.

Ключевые слова: почвенные системы, нефтепродукты, показатели пожарной опасности.

Yu.N. Belshina, M.A. Galishev, K.A. Il'yushina

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF COMBUSTIBILITY OF SYSTEM "SOIL – OIL PRODUCT"

The concentration of various oil products in soils at which system "soil – oil product" becomes flammable are experimentally defined. It is shown that systems "soil – oil products" can be combustible, flammable at very insignificant share of filling of pore space of soils by liquids. Combustibility of such systems has to be estimated on the indicators accepted for solid combustible substances.

Key words: soil systems, oil products, indicators of fire danger.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 28 апреля 2017 г.

В пожарно-технической литературе показатели горючести принято устанавливать для определенного агрегатного состояния [1, 2]. При попадании в почву нефтепродукты образуют с ней новую субстанцию, в которой жидкие нефтяные компоненты оказываются рассеянными по почвенному слою. В этих объектах возможно достижение таких концентраций нефтепродуктов, при которых под воздействием источника зажигания возникает устойчивое горение системы. Системы "почва – нефтепродукты" не могут быть отнесены к физическим состояниям горючих веществ, принятым в регламентирующих документах, в которых, в частности выделяют газообразные, жидкие, твердые вещества, а также дисперсные системы – пыли.

Нефть и нефтепродукты, попадая в почву, могут находиться в ней, с одной стороны, в свободном парообразном и капельножидком состоянии в порах почв или в сорбированном состоянии на органических и минеральных частицах почв, с другой стороны, в виде свободных жидких скоплений на поверхности почв [3]. В первом случае система "почва – нефтепродукты" представляет собой дисперсную систему, по структуре напоминающую губку, в которой собственно горючим компонентом является нефть или нефтепродукт. При этом нефтепродукт может находиться в подвижном или связанном состоянии, образуя соответственно золи или гели. К таким системам не корректно применять показатели горючести, используемые для жидких горючих веществ. Однако очевидно, что и в таком состоянии система может являться горючей.

Жидкие скопления могут образовываться на поверхности почвы, если количество жидкого нефтепродукта превышает предельную ёмкость почвы по отношению к жидкости. В этом случае к нефтепродукту можно применять все показатели горючести для жидких горючих веществ. На возможное состояние системы "почва – нефтепродукты" оказывают влияние свойства почвенной системы и концентрация в ней нефтепродукта.

Авторами экспериментально определены предельные количества жидкости, которые способны поглотить различные типы почв. Эксперименты проводились для различных литолого-морфологических типов почв с использованием воды. Для определения влагоёмкости применяли простейшую методику определения пористости, основанную на том, что определённый объём почвы помещали в воду и фиксировали убыль объёма воды, поглощённой почвой [4]. Навеска почвы, высушенной до воздушно-сухого состояния (m_1), помещалась в пакет из водонепроницаемой ткани и опускалась в ёмкость с известным объёмом воды (V_1). После насыщения образца водой в течение 30 мин. пакет вынимали и давали свободно стечь излишкам воды с поверхности пакета. Замеру подлежали увеличение массы пакета с почвой (Δm), насыщенной водой, и убыль объёма воды в ёмкости (ΔV). Для окончательных расчётов использовали значения массы образцов, поскольку они были получены на более точном оборудовании (аналитические весы). Результаты измерений показаны в табл. 1, влагоёмкость выражали в процентах.

Эксперименты проводились с почвами следующих типов:

- суглинок (Ленинградская область);
- супесь (смесь фракции мелкозернистого песка с суглинком в массовом соотношении 7/93);
- чернозём (Воронежская область);
- гумусовый почвогрунт, представленный готовым нейтральным цветочным почвогрунтом на основе биогумуса "живая земля".

Таблица 1

Результаты определения влагоёмкости различных типов почв

Тип почвы	$m_1, г$	$m_2, г$	$\Delta m, г$	Влагоёмкость, %	$V_1, см^3$	$V_2, см^3$	$\Delta V, см^3$
Чернозём	10,22	19,91	9,69	94,8	100	90	10
Суглинок	10,3	18,06	7,76	75,3	100	92	8
Супесь	10,44	15,68	5,24	50,2	100	94	6
"Живая земля"	10,46	36,17	25,71	246	100	74	26

Полученные результаты в целом соответствуют данным, приводимым другими исследователями. Более высокая пористость суглинка, по сравнению с супесью, укладывается в общую закономерность того, что мелкие фракции имеют бóльшую пористость, по сравнению с крупнозернистыми почвами. С другой стороны, почвы, состоящие в основном из плоских, слюдообразных частиц и кристаллов игольчатой формы, имеют рыхлую упаковку и высокую пористость. В частности, пористость торфяной почвы, содержащей мелкие включения растительных остатков самой различной формы, составляет 80 %, а песчаной – 40 % [5].

Инструкция по контролю за состоянием почв на объектах предприятий Миннефтепрома устанавливает метод оценки степени загрязнения земель по их нефтеёмкости, то есть относительной массе или объёму нефтепродукта, способного впитаться в почву [6]. В настоящее время данная инструкция не является действующей, однако методика определения нефтеёмкости почв не потеряла актуальности. Эта методика основана на весовом определении количества поглощённого расплавленного парафина. Пересчёт весовых данных парафина в объёмные проводится по значению плотности парафина, равной $0,79 \text{ г/см}^3$. Методика используется при определении ущерба окружающей среде при авариях на магистральных нефтепроводах [7]. По данным О.А. Гусевой и Н.П. Солнцевой [8], предельная нефтеёмкость болотных торфяно-перегнойно-глеевых почв, сложенных хорошо разложившимся осоко-моховым торфом, составляет 1620 г/кг , при влажности почвы 25-50 %. Для лёгкого суглинка нефтеёмкость составляет 47 %, для супеси – 35 %, для песков – 30 %.

Значения пористости почвы, установленные по коэффициенту нефтеёмкости для различных нефтепродуктов, зависят от типа нефтепродукта. Средние значения коэффициента нефтеёмкости для различных нефтепродуктов увеличиваются в ряду: бензин, дизельное топливо, сырая нефть. В частности, нефтеёмкость глинисто-алевролитовых песков по автомобильному бензину имеет значения от 4,7 % для крупных фракций до 34,4 % для мелких фракций, по дизельному топливу – от 13,5 % для крупных фракций до 44,4 % для мелких фракций, по сырой нефти – от 10,9 % для крупных фракций до 50 % для мелких фракций [9].

Авторами экспериментально определены концентрации различных нефтепродуктов в почвах, при которых система "почва – нефтепродукты" становится горючей, и установлено, какую долю от эффективной пористости почвы составляют данные концентрации. Почвы, изученные в первой части экспериментов, пропитывались различными количествами нефтепродукта. В качестве нефтепродуктов были использованы автомобильный бензин АИ-92 (плотность $0,735 \text{ г/см}^3$) компании ПТК, дизельное топливо (плотность $0,825 \text{ г/см}^3$) компании ПТК, смесевая нефть Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (плотность $0,850 \text{ г/см}^3$). В качестве источника зажигания использовалось открытое пламя. Полученные в ходе экспериментов концентрации нефтепродуктов, при которых наблюдались признаки горения, отражены в табл. 2 и наглядно представлены на линейчатой диаграмме (рис. 1). Отмечались следующие визуально фиксируемые, после удаления источника зажигания, признаки горения: выделение дыма, вспышка, воспламенение.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что горючесть систем "почва – нефтепродукты" зависят как от вида нефтепродукта, так и от типа почвы. Среди нефтепродуктов наименьшие концентрации, при которых наблюдаются признаки горения, установлены для автомобильного бензина. Причём, для систем "почва – бензин" не наблюдалось дымовыделения. Наибольшие концентрации нефтепродуктов, которые необходимо было создать в почвах для появления признаков горения, установлены для нефти. Указанные закономерности наблюдались для всех типов изученных почв.

Концентрации нефтепродуктов (% масс.), при которых наблюдались признаки горения на различных типах почв

Тип почвы	Признаки горения*	Концентрация бензина	Концентрация дизельного топлива	Концентрация нефти
Суглинок	дым.	-	4,13	4,25
	всп.	3,68	5,78	11,05
	заж.	8,09	9,08	14,45
Чернозём	дым.	-	5,78	4,25
	всп.	3,68	5,78	5,95
	заж.	8,09	9,08	17,85
"Живая земля"	дым.	-	4,13	4,25
	всп.	3,68	4,13	7,65
	заж.	3,68	7,43	12,75
Супесь	дым.	-	4,13	4,25
	всп.	-	4,13	4,25
	заж.	3,68	5,78	11,05

* дым. – дымовыделение; всп. – вспышка; заж. – зажигание

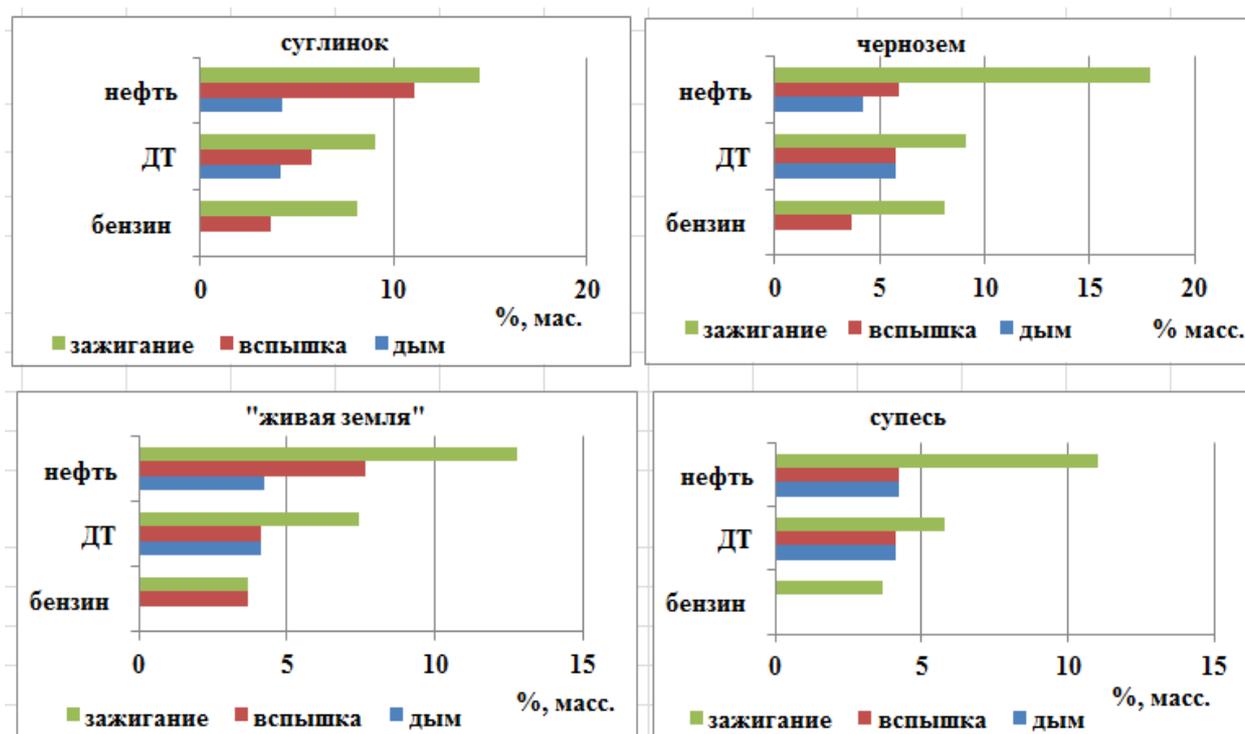


Рис. 1. Линейчатые диаграммы концентраций нефтепродуктов, при которых наблюдались признаки горения на различных типах почв (в % масс.)

Что касается отдельных типов почв, то выявлено, что чернозём, по сравнению с другими типами почв, наиболее горючий в сочетании с нефтью, суглинок – в смеси с бензином и дизельным топливом. Среди рассмотренных систем наиболее низкие горючие концентрации установлены для систем «живая земля» – бензин», «супесь – бензин», наиболее высокие – для системы «чернозём – нефть». Отсутствие устойчивой закономерности в возрастании горючих концентраций для отдельных типов почв, касающейся всех видов нефтепродуктов, объясняется чрезвычайно сложным комплексом свойств почвенных отложений. В настоящей статье оценён только объём порового пространства, да и то по весьма упрощенной методике. Очевидно, что выбранные типы почв существенно различаются по сложению, морфологии, физическим свойствам и по многим другим характеристикам, полный учёт которых вряд ли представляется возможным.

В табл. 3 и на рис. 2 полученные экспериментальные данные пересчитаны на объём порового пространства, установленный методом определения влагоёмкости (табл. 1). В долях от объёма порового пространства дифференциация типов почв по характеристикам горючести проявляется более отчётливо. Так, наименьшие концентрации, для которых наблюдались признаки горения, установлены для почвогрунта «живая земля». Более высокие горючие концентрации светлых нефтепродуктов (бензина и дизельного топлива) установлены для супеси и чернозёма. Наибольшие горючие концентрации светлых нефтепродуктов наблюдались для суглинка. С другой стороны, в супеси установлены наиболее высокие горючие концентрации нефти.

Таблица 2

Концентрации нефтепродуктов (в долях от влагоёмкости), при которых наблюдались признаки горения на различных типах почв

Тип почвы	Признаки горения*	Концентрация бензина	Концентрация дизельного топлива	Концентрация нефти
Суглинок	дым.	0,00	0,05	0,06
	всп.	0,05	0,08	0,15
	заж.	0,11	0,12	0,19
Чернозём	дым.	0,00	0,06	0,04
	всп.	0,04	0,06	0,06
	заж.	0,09	0,10	0,19
"Живая земля"	дым.	0,000	0,017	0,017
	всп.	0,015	0,017	0,031
	заж.	0,015	0,030	0,052
Супесь	дым.	0,00	0,08	0,08
	всп.	0,00	0,08	0,08
	заж.	0,07	0,12	0,22

* дым. – дымовыделение; всп. – вспышка; заж. – зажигание

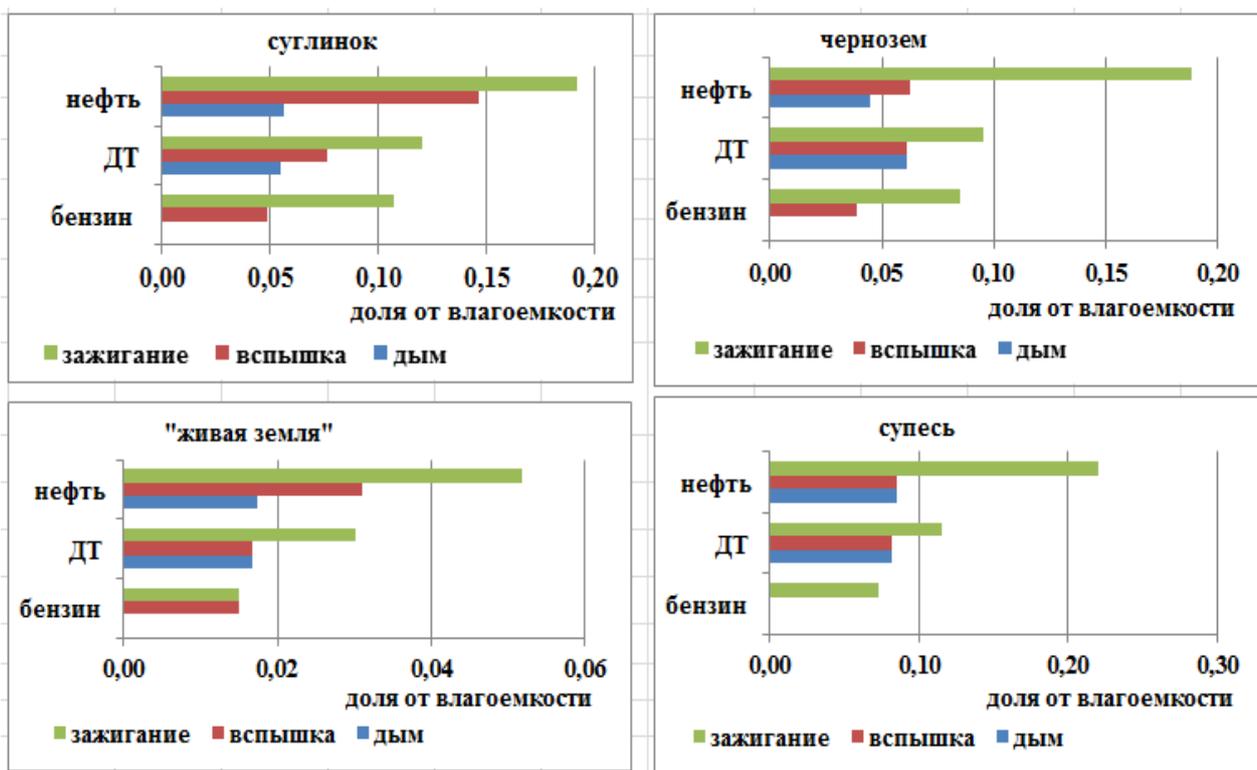


Рис. 2. Линейчатые диаграммы концентраций нефтепродуктов, при которых наблюдались признаки горения на различных типах почв (в долях от влагоёмкости почвы)

Более отчётливо выявленные закономерности можно проследить на диаграммах распределения характеристик горючести систем "почва – нефтепродукты" по видам нефтепродуктов (рис. 3-5). Здесь приводятся только концентрации начала дымовыделения и концентрации воспламенения. По дымовыделению оценивалось начало тлеющего горения системы, по воспламенению – устойчивое пламенное горение. Поскольку концентрации горючести в системах с почвогрунтом "живая земля" были очень низкими, по отношению к объёму порового пространства, был проведен сравнительный эксперимент с попыткой выявить признаки горения у чистого почвогрунта данного типа, для проверки предположения о возможности его самостоятельного горения под воздействием источника зажигания. Однако в этом случае признаков горения не наблюдалось. Все же, горение систем почвогрунта "живая земля" со столь малыми количествами нефтепродуктов, занимающими очень небольшую долю порового пространства, вряд ли можно объяснить только горением нефтепродукта. Этот почвогрунт характеризуется значительным содержанием органических компонентов и нефтепродукты в этих системах, скорее всего, играли роль иницирующего импульса, "запускающего" горение всей системы. Здесь уместно привести в качестве аналогии состояние горючих жидкостей при иницировании поджогов.

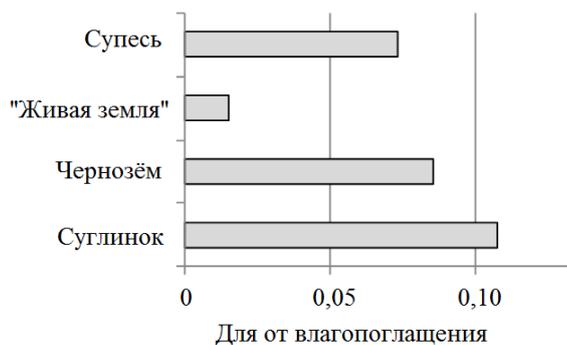


Рис. 3. Концентрации воспламенения в различных типах почв, содержащих автомобильный бензин

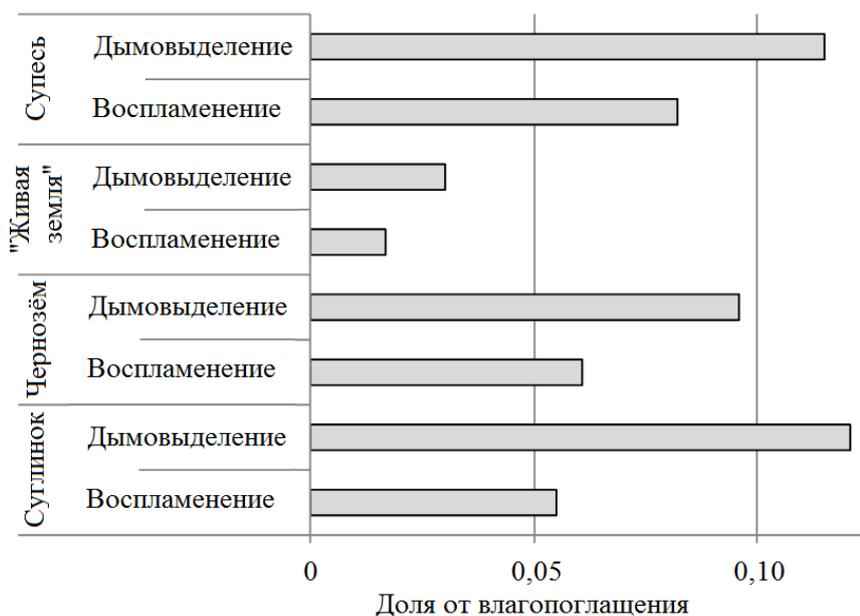


Рис. 4. Концентрации начала тления и воспламенения в различных типах почв, содержащих дизельное топливо

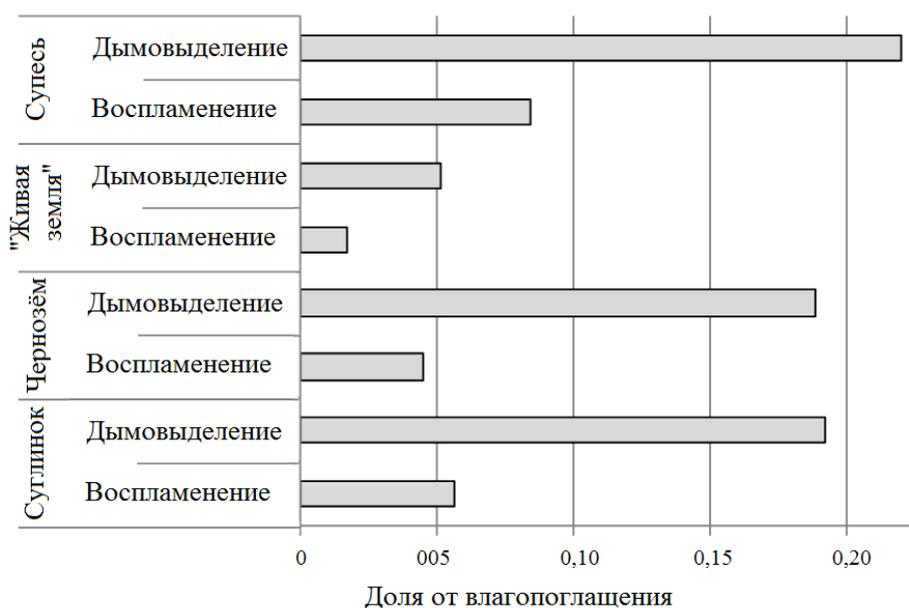


Рис. 5. Концентрации начала тления и воспламенения в различных типах почв, содержащих сырую нефть

Помимо систем с почвогрунтом "живая земля", очень низкие концентрации воспламенения нефтепродуктов установлены для тлеющего горения в системах суглинка и чернозёма с дизельным топливом и нефтью. Для остальных видов нефтепродуктов, а также для всех систем на основе супеси концентрации воспламенения существенно выше. Однако и в самых предельных случаях эти концентрации едва превышают 20 % от объёма порового пространства почвенных систем.

Основной вывод, который можно сделать на основании проведённых экспериментов – это то, что системы "почва – нефтепродукты" являются горючими при очень незначительной доле заполнения порового пространства почв горючими жидкостями. При таких концентрациях нельзя говорить о наличии в почвах жидких скоплений нефти и нефтепродуктов. Очевидно, в этих случаях мы имеем дело с системами, в которых нефтепродукты находятся в парообразном или капельножидком состоянии в порах почв или в сорбированном состоянии на органических и минеральных частицах почв [3]. Горючесть таких систем должна оцениваться по показателям, принятым для твёрдых горючих веществ.

Литература

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
2. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. Инструкция по определению и возмещению вреда (ущерба), причиненного в результате деградации, загрязнения и захламления земель. Госкомитет РФ по охране окружающей среды. Госкомитет РФ по ресурсам и землеустройству. М., 1998. 35 с.
4. Руководство к практическим занятиям по методам санитарно-гигиенических исследований: учеб. пособие для мед. училищ / ред. Л. Г. Подунова. М. : Медицина, 1990. 303 с.
5. Геннадиев А. Н., Глазковская М. А. География почв с основами почвоведения : учебник. М. : Высшая школа, 2008. 462 с.
6. РД 39-0147098-015-90. Инструкция по контролю за состоянием почв на объектах предприятий Миннефтепрома.
7. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных трубопроводах (утв. Минтопэнерго России 1 ноября 1995 г. Согласованно с Департаментом Государственного экологического контроля Минприроды России). Уфа: ИПТЭР, 1995.
8. Солнцева Н. П., Гусева О. А., Горячкин С. В. Моделирование процессов миграции нефти и нефтепродуктов в почвах тундры Европейской территории России // Вест. Моск. ун-та. Сер. Почвоведение. 1996. № 2. С. 10-17.
9. Панжин Д. А., Давиденко М. В., Галишев М. А. Использование перколяционных моделей для описания нефтяного загрязнения почвенных отложений // Проблемы управления рисками в техносфере. № 2, 2011. С. 16-23.

References

1. Federal'nyj zakon ot 22 ijulja 2008 g. No 123-FZ "Tehnicheskij reglament o trebovanija požarnoj bezopasnosti".
2. GOST 12.1.044-89 (ISO 4589-84). Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredelenija.
3. Instrukcija po opredeleniju i vozmeshheniju vreda (ushherba), prichinnogo v rezul'tate degradacii, zagrijaznenija i zahlamlenija zemel' (Manual for the identification and compensation of harm (damage) caused as a result of degradation, pollution and littering the land). Goskomitet RF po ohrane okruzhajushhej sredy. Goskomitet RF po resursam i zemleustrojstvu. M., 1998. 35 p.
4. Rukovodstvo k prakticheskim zanjatijam po metodam sanitarno-gigienicheskikh issledovanij: ucheb. posobie dlja med. uchilishh (A guide to practical classes on methods of sanitary-hygienic studies) / red. L. G. Podunova. M. : Medicina, 1990. 303 p.
5. Gennadiev A. N., Glazkovskaja M. A. Geografija pochv s osnovami pochvovedenija (Geography of soils with fundamentals of soil science) : uchebnik. M. : Vysshaja shkola, 2008. 462 p.
6. RD 39-0147098-015-90. Instrukcija po kontrolju za sostojaniem pochv na obektah predpriyatij Minnefteproma.
7. Metodika opredelenija ushherba okruzhajushhej prirodnoj srede pri avarijah na magistral'nyh truboprovodah (Method of determination of environmental damage in case of accidents on trunk pipelines) (utv. Mintopjenergo Rossii 1 nojabrja 1995 g. Soglasovanno s Departamentom Gosudarstvennogo jekologicheskogo kontrolja Minprirody Rossii). Ufa: IPTJeR, 1995.
8. Solnceva N. P., Guseva O. A., Gorjachkin S. V. Modelirovanie processov migracii nefi i nefteproduktov v pochvah tundry Evropejskoj territorii Rossii (Modeling of processes of migration of oil and oil products in the soils of tundra of European Russia) // Vest. Mosk. un-ta. Ser. Pochvovedenie. 1996. No 2. Pp. 10-17.
9. Panzhin D. A., Davidenko M. V., Galishev M. A. Ispol'zovanie perkoljacionnyh modelej dlja opisanija nefljanogo zagrijaznenija pochvennyh otlozhenij (The use of percolation models to describe oil contamination of soil deposits) // Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. No 2, 2011. Pp. 16-23.