

УДК 504.054:504.064

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ БУРОВЫМИ РАСТВОРАМИ И ИХ КОМПОНЕНТАМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ПОРОДЫ «СТАРАТЕЛЬ»

Е. В. Плешакова, А. Ю. Беляков

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: plekat@rambler.ru*

Поступила в редакцию 24.11.13 г.

Оценка токсичности почвы, загрязненной буровыми растворами и их компонентами, с использованием дождевых червей породы «Старатель». – Плешакова Е. В., Беляков А. Ю. – С помощью дождевых червей «Старатель» продемонстрирована высокая и сверхвысокая токсичность почвы, загрязненной нефтью, дизельным топливом и буровыми растворами на их основе. Показано низкое токсическое воздействие на почву минерального масла и бурового раствора на его основе. Обнаружено, что из исследованных компонентов дисперсионной фазы буровых растворов сульфол и хлорид кальция способствовали средней степени токсичности почвы, которая в первом случае уменьшалась со временем, а во втором, напротив, повышалась до высокого уровня.

Ключевые слова: инвертно-эмульсионные растворы, компоненты буровых растворов, токсичность почвы, дождевые черви «Старатель».

Evaluation of the toxicity of soils contaminated with drilling fluids and their components using the Staratel™ earthworms. – Pleshakova E. V. and Belyakov A. Yu. – A very high and super-high toxicity of soils contaminated with oil, diesel fuel, and drilling fluids was demonstrated using the Staratel™ earthworms. A low toxic effect of mineral oil and mineral oil-based drilling fluid on the soil is shown. It was found that, of the examined components of the disperse phase of drilling fluids, sulfonol and calcium chloride moderately contributed to the soil toxicity, which decreased with time in the first case, and, on the contrary, increased to a high level in the second case.

Key words: invert-emulsion fluids, drilling fluid components, soil toxicity, Staratel™ earthworms.

ВВЕДЕНИЕ

Буровые растворы на углеводородной основе широко используются в бурении нефтяных и газовых скважин, как на морских проектах, так и на суше. К этим растворам относятся инвертно-эмульсионные растворы (ИЭР), дисперсионной средой которых может выступать нефть, дизельное топливо или минеральное масло. Дисперсионная фаза таких буровых растворов включает компоненты: известь, различные утяжелители, воду, соли, синтетические полимеры, органоглины и различные поверхностно-активные вещества (ПАВ) (Соловьев, 2003; Смирнова, 2011).

При использовании ИЭР существует опасность загрязнения окружающей среды компонентами, входящих в их состав, среди которых основными токсикантами являются углеводороды (Рязанов, 2005). Вынесенный на поверхность из ствола скважины буровой шлам может содержать до 10 – 15% углеводородов, а также утяжелители и соли дисперсионной фазы. И если правильно обработанный шлам

может храниться долгие годы, то необработанный шлам может нанести серьезный вред окружающей среде (Калашник, Баракхина, 2009). Постоянными источниками загрязнения при этом являются фильтрация и утечки жидких отходов бурения из шламовых амбаров, которые содержат в своем составе широкий спектр загрязнителей минеральной и органической природы. Временные источники воздействия – это поглощение бурового раствора при бурении; выбросы пластового флюида на дневную поверхность; нарушение герметичности зацементированного заколонного пространства; затопление территории буровой вследствие паводка или интенсивного таяния снегов и разлив при этом содержимого шламовых амбаров (Быков и др., 1985). В таких случаях негативное влияние отходов бурения оказывают уже на почву, нарушая состав, свойства и плодородие почвы. Прежде всего, токсическое воздействие сказывается на почвенной биоте и почвенно-поглощающем комплексе почв. При углеводородных загрязнениях почв из них вытесняется кислород, почва теряет продуктивность и долго не восстанавливается, также резко меняется соотношение между углеродом и азотом, что ухудшает азотный режим почв и нарушает корневое питание растений (Ягафарова, Баракхина, 2006). Присутствие в буровых растворах солей на основе хлоридов создает проблемы при утилизации отходов месторождения. Если применять закапывание, хлориды могут увеличить электропроводимость любой воды и могут создать проблемы для объектов биологической очистки.

Важным элементом биодиагностики качества техногенных субстратов и природных сред, в том числе почвы, способным интегрально и оперативно оценить степень их токсичности, является биотестирование (Ибрагимова и др., 2009; Терехова, 2010). Дождевые черви используются в биотестировании различных химических реагентов, загрязняющих почву (Романова, Любомирова, 2009; Dorn, Salanitro, 2000; Schaefer, 2001). В связи с эколого-физиологическими особенностями эти организмы контактируют с почвенными частицами, воздухом и влагой не только на поверхности кожных покровов, но и внутри пищеварительного тракта, непосредственно перерабатывая и накапливая большое количество почвы. Таким образом, они подвергаются прямому влиянию неорганических и органических веществ, находящихся в почве. Кроме того, дождевые черви легко разводятся в лабораторных условиях, имеют короткое время регенерации и хорошо изучены (Игонин, 1995).

Целью настоящей работы являлась оценка токсического воздействия на почву ИЭР и их компонентов с помощью дождевых компостных червей «Старатель».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В лабораторных экспериментах нами исследовалось токсическое действие на почву трех видов ИЭР, различающихся типом дисперсионных сред, среди которых были: минеральное масло И-20 (ИЭР 1), товарная нефть (ИЭР 2) и дизельное топливо «Л» (ИЭР 3). Также нами отдельно оценивалось токсическое воздействие на почву вышеперечисленных дисперсионных сред и ряда компонентов дисперсионной фазы, входящих в состав исследуемых буровых растворов. ИЭР с объемным соотношением углеводородная фаза/водная фаза (75:25) были смоделированы на

основе литературных данных о составе буровых растворов, наиболее распространенных в бурении нефтяных и газовых скважин (Гаршина и др., 2011). Остальные реагенты, входящие в состав ИЭР, г/л: органобентонит – 4.6; сульфенол – 22.8; BaSO_4 – 645; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 22.8; CaCl_2 – 51.8.

В экспериментах использовали чернозём южный, суглинистый, отобранный в Саратовской области, со следующими гранулометрическими характеристиками: частицы >5 мм – 1.8%; <5 – >3 мм – 4.2%; <3 – >1 мм – 10.0%; <1 – >0.5 мм – 11.5%; <0.5 – >0.25 мм – 19.0%; <0.25 мм – 53.6%. Чернозём южный содержал: 0.9% общего органического углерода, 6.3 мг/кг NO_3^- , 59.3 мг/кг NH_4^+ , 156 мг/кг подвижного P_2O_5 , pH почвы (солевой) 7.2. Перед экспериментом из почвы удаляли крупные включения, просеивали через сито с диаметром ячеек 5 мм и загрязняли ИЭР и дисперсионными средами в концентрации 40 и 25 г/кг соответственно. Также в почву вносили компоненты дисперсионной фазы в концентрации: BaSO_4 – 25.8; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 0.9; CaCl_2 – 2.1; сульфенол – 0.9 г/кг. Концентрации загрязнителей взяты на основании данных о потерях ИЭР с выбуренной породой при бурении скважин, которые происходят, несмотря на использование высокотехнологичного оборудования (Ягафарова, Барахнина, 2006). По литературным данным, органо-бентонит не обладает токсическим действием, поэтому отдельно этим компонентом почву не загрязняли (Смирнова, 2011). Почву тщательно перемешивали и выдерживали в течение суток для равномерного распределения загрязнителей. В качестве контроля использовали исходную чистую почву. Токсичность образцов почвы определяли непосредственно после загрязнения (1 сут.) и через 30 сут. выдерживания почвы без полива, при комнатной температуре.

Оценку токсичности почвы на дождевых червях проводили по методу, основанному на исследовании их выживаемости при воздействии токсичных веществ (Международный стандарт ИСО 11268-1, 2012). В качестве тест-организмов использовали дождевых компостных червей «Старатель», полученных в лабораторных условиях профессором А. М. Игониным путем скрещивания особей двух пространственно отдаленных популяций (местной российской и киргизской популяции) навозных червей *Eisenia foetida* (Патент РФ 2058737). Черви «Старатель» элитной промышленной линии были любезно предоставлены ОАО «Агрофирма «Грин-ПИК», (г. Ковров, Владимирская обл.) и впервые использованы нами для оценки токсичности комплексного загрязнения почвы. Преимущество их использования, по нашему мнению, заключалось в применении особей генетически однородной популяции, что повышало достоверность результатов тестирования.

Экспериментальные пластиковые контейнеры заполняли загрязненной или чистой (контрольной) почвой (1 кг) и помещали по 20 особей. Каждый вариант эксперимента был представлен в трех повторностях. Для создания оптимальных условий для червей «Старатель» в ходе биотестирования почву увлажняли профильтрованной водопроводной водой, поддерживая влажность в ходе эксперимента на уровне не менее 60%, дополнительно вносили биогумус (червекомпост) в соотношении к почве 1:6. Инкубирование дождевых червей осуществляли при комнатной температуре. Контейнеры сверху плотно фиксировали марлей, которая содержала небольшие отверстия для воздухообмена, и в то же время препятство-

вала высыханию почвы и случайному высвобождению из контейнеров тест-организмов.

Показателем выживаемости служило среднее количество червей, выживших в тестируемой почве, по сравнению с контролем (незагрязненная почва). Критерием высокой токсичности являлась гибель 50% и более дождевых червей в тестируемой почве по сравнению с контролем. Проводили кратковременное биотестирование в течение 2 сут., что позволило выявить острое токсическое действие загрязнителей почвы на дождевых червей. В ходе более длительного биотестирования (7 сут. экспозиции) оценивали субхроническое действие экополлютантов на дождевых червей. Дополнительно изучали изменение поведенческих реакций у тест-организмов. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel 2003.

Для проведения сравнительного анализа степени токсичности образцов почвы использовали методику расчета индекса токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) по Р. Р. Кабирову с соавторами (1997) по формуле: $ИТФ = (ТФ_0/ТФ_к)$, где $ТФ_0$ – значение тест-функции в опыте, а $ТФ_к$ – значение в контроле. Для обобщения всех параметров, полученных в результате биотестирования, производили расчет $ИТФ_{ср}$ – среднего значения величины ИТФ для каждого опыта по формуле: $ИТФ_{ср} = (ИТФ_1 + ИТФ_2 + ИТФ_n)/n$. Затем сравнивали полученные результаты со шкалой токсичности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты биотестирования почвы на дождевых червях «Старатель», проведенного сразу после внесения загрязнителей, продемонстрировали, что показатели выживаемости тест-объектов в контрольной (100%-ная выживаемость) и загрязненной почве существенно различались. В почве, загрязненной минеральным маслом, выживаемость дождевых червей через 2 сут. экспозиции составила 100%, что свидетельствовало об отсутствии острой токсичности почвы при добавлении этого поллютанта (рис. 1, а). В варианте с ИЭР 1, основой которого было минеральное масло, выживаемость червей «Старатель» составила 25%. В почве с дизельным топливом, нефтью и ИЭР с соответствующими дисперсионными средами выживаемость была крайне низкой – от 0 до 10%, что указывало на острое токсическое воздействие данных загрязнителей. Такое ингибирующее действие наблюдалось и через 7 сут. инкубирования дождевых червей в почве.

Следует отметить, что при проведении тестирования в этих вариантах наблюдали изменения в поведенческих реакциях дождевых червей: они не зарывались в почву, а стремились на ее поверхность, что также являлось показателем наличия в почве токсичных веществ. При окончательном учете результатов наблюдали погибших высохших (обезвоженных) дождевых червей. В почве, загрязненной минеральным маслом, выживаемость червей через 7 сут. снизилась до 85%. Снижение выживаемости дождевых червей в течение 7 суток до 40% при 1.5%-ной концентрации нефти в почве было показано в работе Н. Safwat с соавторами (2002).

В почвенных образцах с добавлением $BaSO_4$ и $Ca(OH)_2$ выживаемость дождевых червей через 2 сут. составила 100%, с $CaCl_2$ – 90%, указывая на отсутствие

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ БУРОВЫМИ РАСТВОРАМИ

острой токсичности почвы, загрязненной этими реагентами (рис. 1, б). Среди исследованных компонентов буровых растворов максимальное снижение выживаемости тест-организмов наблюдалось при загрязнении почвы сульфенолом, которая составила в этом варианте 70%. Через 7 сут. экспозиции выживаемость со всеми загрязнителями несколько снизилась и составила в почвенных образцах с баритом – 90, известью и CaCl_2 – 80, сульфенолом – 60%, что указывает на усиление токсичности почвы, содержащей исследуемые вещества, при более длительном воздействии.

Краткосрочное биотестирование (2 сут. экспозиции), осуществленное через 30 сут. после внесения поллютантов в почву, показало 100%-ную выживаемость тест-организмов в контрольной чистой почве и в вариантах с минеральным маслом и ИЭР на его основе (рис. 2, а). В остальных почвенных образцах с ИЭР и их дисперсионными средами показатели выживаемости не изменились по сравнению с предыдущим тестированием, выполненным через 1 сут. после загрязнения почвы. В почве, загрязненной минеральным маслом, выживаемость червей через 7 сут. экспозиции осталась на уровне 100%, со всеми буровыми растворами, нефтью и дизельным топливом была равна нулю.

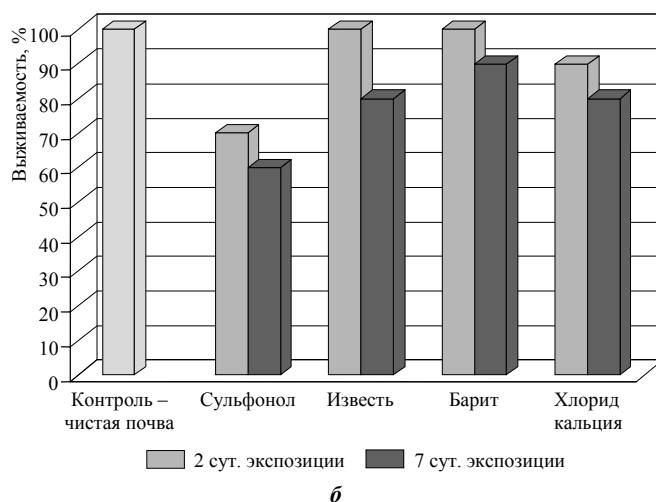
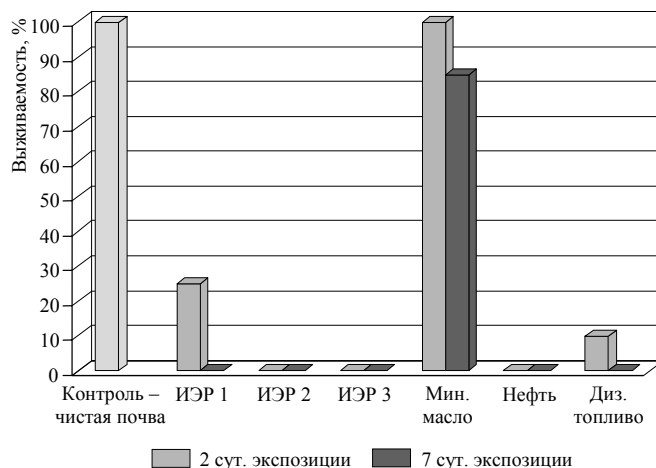
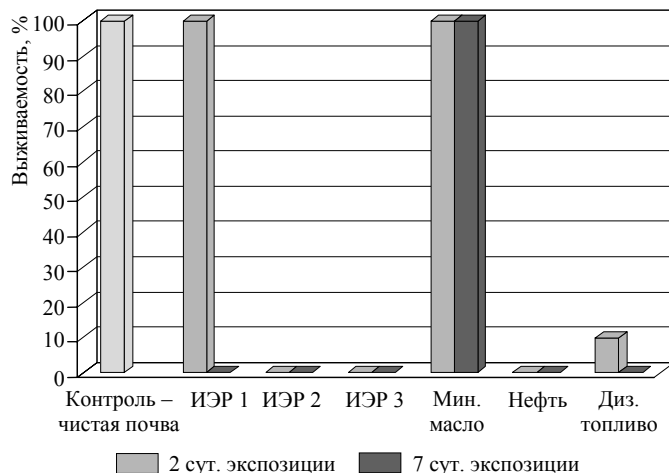
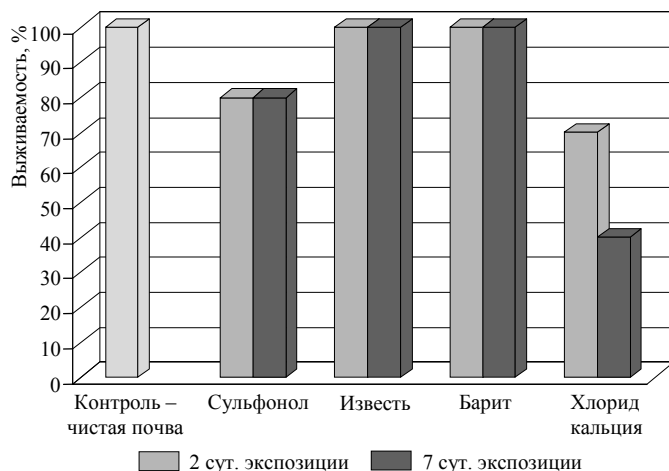


Рис. 1. Результаты вермистестирования почвы через 1 сут. после внесения загрязнителей: а – ИЭР и их дисперсионных сред; б – отдельных реагентов, входящих в состав ИЭР

В почве, загрязненной отдельными компонентами, входящими в состав исследуемых буровых растворов, через 30 сут. эксперимента наблюдалось следующее (рис. 2, б). Выживаемость дождевых червей «Старатель» через 2 и 7 сут. экс-



а



б

Рис. 2. Результаты вермистестирования почвы через 30 сут. после внесения загрязнителей: а – ИЭР и их дисперсионных сред; б – отдельных реагентов, входящих в состав ИЭР

почве хлоридом кальция. В этом образце отмечали отсутствие у червей инстинкта переработки почвы, они обезвоживались, становились неподвижными, а затем погибали. Известно, что дождевые черви имеют механизмы замещения и консервирования воды в клетках тела. Если влажность в почве становится слишком низкой,

позиции в почве с известью и баритом составила 100%, что свидетельствует о нетоксичности данных компонентов ИЭР. В почве, загрязненной сульфенолом, выживаемость *Eisenia foetida* через 2 и 7 сут. экспозиции составила 80%, что на 10 и 20% выше, чем в почве сразу после загрязнения. Это может быть связано с процессами абиотической и биотической трансформации ПАВ.

В почве с CaCl_2 выживаемость тест-организмов была ниже, чем при первоначальном внесении соли, через 2 сут. экспозиции – на 20%, через 7 сут. данный показатель уменьшился почти в 2 раза по сравнению с результатом анализа через 2 сут. экспозиции, выживаемость составляла всего 40%, что, вероятно, обусловлено осмотическим давлением, создаваемым в

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ БУРОВЫМИ РАСТВОРАМИ

черви также начинают терять воду и массу, и могут потерять до 70 – 75% воды без летального исхода. Они способны поддерживать постоянный уровень соли в своем организме в слабосоленых средах, но не в средах с высокой концентрацией солей. При высокой засолённости почвы осмотическое давление иссушает червей, что приводит, в конечном итоге, к оцепенению и гибели (McCosh, Getliff, 2003). С. В. Максимова с соавторами (2009) исследовала воздействие соледержащих гололедных реагентов и показала, что содержание солей в водной вытяжке из почв более 1 г/л приводит к значительному угнетению дождевых червей. Также М. Н. Саксонов с соавторами (2008) при изучении токсичности компонентов буровых растворов установил, что все исследованные системы соленасыщенных буровых растворов токсичны и показал, что насыщение NaCl увеличило токсичность растворов, содержащих коллоидные наполнители, для тест-организма – *Euglena viridis*.

Добавление в почву извести, как установлено нами, не оказывало токсического действия на дождевых червей, возможно, из-за слишком малой концентрации (0.9 г/кг почвы). Известно, что для дождевых червей оптимальны нейтральные значения pH (Тиунов, 2007), а внесение извести в небольшой концентрации не повлияло существенно на величину pH почвы. К тому же имеются сведения, что *Eisenia foetida* толерантны к изменению pH почвы (Воробейчик, 1998). Добавление в почву барита в исследуемой концентрации также не оказывало негативного воздействия на дождевых червей, так как барит не усваивается дождевыми червями и поэтому не приносит им вреда.

Анализу полученных результатов способствовал расчет индексов токсичности оцениваемого фактора и определение на основании этих величин степени токсичности почвы (таблица). Результаты вермистестирования, показавшие подавление тест-функции более, чем на 50% относительно контроля, а в большинстве случаев продемонстрировавшие тотальную смертность дождевых червей, свидетельствовали о высокой степени токсичности почвы при внесении в нее ИЭР и их дисперсионных сред, за исключением минерального масла, при добавлении которого в почву не проявлялся токсический эффект как непосредственно после загрязнения, так и 30 сут. спустя.

Результаты определения токсичности проб почвы с различными загрязнителями

Варианты почвы с загрязнителями	Экспозиция почвы после внесения загрязнителей, сут.	Показатели			
		острой токсичности		субхронической токсичности	
		ИТФ по выживаемости червей	степень токсичности почвы	ИТФ по выживаемости червей	степень токсичности почвы
1	2	3	4	5	6
ИЭР 1	1	0.2	2	0.0	1
	30	1.0	5	0.0	1
Мин. масло	1	1.0	5	0.8	4
	30	1.0	5	1.0	5
ИЭР 2	1	0.0	1	0.0	1
	30	0.0	1	0.0	1
Нефть	1	0.0	1	0.0	1
	30	0.0	1	0.0	1

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
ИЭР 3	1	0.0	1	0.0	1
	30	0.0	1	0.0	1
Диз. топливо	1	0.1	2	0.0	1
	30	0.1	2	0.0	1
Сульфонол	1	0.7	3	0.6	3
	30	0.8	4	0.8	4
CaCl ₂	1	0.9	4	0.8	4
	30	0.7	3	0.4	2
Ca(OH) ₂	1	1.0	5	0.8	4
	30	1.0	5	1.0	5
BaSO ₄	1	1.0	5	0.9	4
	30	1.0	5	1.0	5

Примечание. Шкала токсичности: 5 – норма: ИТФ = 0.91 – 1.10; 4 – низкая токсичность: ИТФ = 0.71 – 0.90; 3 – средняя токсичность: ИТФ = 0.5 – 0.7; 2 – высокая токсичность: ИТФ < 0.5; 1 – сверхвысокая: ИТФ = 0.

В целом и буровой раствор, основой которого было минеральное масло, оказывал меньшее токсическое воздействие на почву по сравнению с остальными ИЭР, в состав которых входило дизельное топливо и нефть, что, скорее всего, связано с разным фракционным составом исследованных загрязнителей, и, в частности, с различным процентным содержанием ароматических углеводородов как наиболее токсичных (Loibner et al., 2004). Эти результаты согласуются с данными других исследователей, которые показали, что буровые растворы, содержащие ароматические соединения и циклические углеводороды, более токсичны для почвенных беспозвоночных (ногохвостки) и растений (Curtis et al., 2001).

При оценке влияния неорганических компонентов, входящих в состав исследованных ИЭР, установлено, что наибольшее токсическое действие на дождевых червей оказывала почва с хлоридом кальция, что связано с чувствительностью *Eisenia foetida* к осмотическому давлению в засоленных почвах (Захваткин, 2003). Среди солей дисперсной фазы хлорид кальция можно рассматривать как наиболее опасный токсикант, так как он нерастворим, накапливается с течением времени и может привести к токсичным концентрациям, способным увеличить электропроводность среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с помощью биотестирования на дождевых червях «Старатель» была показана сверхвысокая степень токсичности почвы при загрязнении ИЭР на основе нефти и дизельного топлива, которая не уменьшалась через 30 суток. Почва, загрязненная ИЭР на основе минерального масла, была менее токсична. Дисперсионные среды (нефть и дизельное топливо) при внесении в почву также способствовали сверхвысокой и высокой степени токсичности почвы. Из исследованных дисперсионных сред минеральное масло оказалось наименее токсичным, загрязненная им почва не была токсичной для дождевых червей. Полученные данные позволяют рекомендовать использование минерального масла в качестве

углеводородной основы ИЭР как наименее токсичной дисперсионной среды. При загрязнении почвы сульфенолом наблюдалась средняя степень токсичности сразу после внесения и низкая степень через 30 суток, хлорид кальция, напротив, с течением времени усиливал токсичность почвы до уровня средней и высокой токсичности. Барит и известь не оказывали токсического действия на почву.

Выявленное с помощью биотестирования негативное влияние на почву исследованных буровых растворов и их компонентов требует разработки современных технологий утилизации отработанных буровых растворов, а также технологий ремедиации почвы при загрязнении ее ИЭР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Быков И. Ю., Гуменюк А. С., Литвиненко В. И., Варфоломеев Б. Г. Охрана окружающей среды при строительстве скважин // Обзор. информ. Сер. Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. М. : ВНИИОЭНГ, 1985. Вып. 1/45. 59 с.

Воробейчик Е. Л. Население дождевых червей (Lumbricidae) лесов Среднего Урала в условиях загрязнения выбросами медеплавильных комбинатов // Экология. 1998. № 2. С. 102 – 108.

Гаршина О. В., Хвоцкин П. А., Кузнецова О. Г., Кудимов И. А., Окромелидзе Г. В. Разработка, опыт применения и перспективы повторного использования инвертно-эмульсионных буровых растворов // Бурение скважин. 2011. № 10. С. 56 – 59.

Захваткин Ю. А. Основы общей и сельскохозяйственной экологии. СПб. : Мир, 2003. 360 с.

Ибрагимова С. Т., Айткельдиева С. А., Файзулина Э. Р., Саданов А. К., Попутникова Т. О., Терехова В. А. Экологическая оценка нефтезагрязненных почв Казахстана по откликам стандартных биотест-систем // Докл. по экологическому почвоведению. 2009. Вып. 11, № 1. С. 79 – 94.

Игонин А. М. Как повысить плодородие почвы в десятки раз с помощью дождевых червей. М. : ИВЦ «Маркетинг», 1995. 88 с.

Кабилов Р. Р., Сагитова А. Р., Суханова Н. В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 45 – 48.

Калашиник Н. А., Барханина В. Б. Биоиндикация токсичности буровых отходов после их очистки микробиологическим способом // Вестн. Оренб. гос. ун-та. 2009. Спец. вып. С. 449 – 451.

Максимова С. В., Степачев А. В., Домашнев Д. Б., Рахлеева А. А., Терехова В. А. Биотестирование почвогрунтов при разном содержании фосфорно-калийных компонентов и засолении по реакции дождевых червей *Aporrectodea rosea* // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2009. Т. 114, вып. 3. Приложение 1, ч. 2. Экология. Природные ресурсы. Рациональное природопользование. Охрана окружающей среды. С. 46 – 50.

Международный стандарт ISO 11268-1. Качество почвы. Воздействие загрязняющих веществ на земляных червей (*Eisenia fetida*). Ч. 1. Определение острого токсического эффекта на *Eisenia foetida*/*Eisenia andrei* // Intern. Organization for Standardization [Electronic resource]. Geneva, 2012. 18 с. URL: http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53527&commid=54328 (дата обращения: 15.09.2013).

Пат. 2058737 РФ, А01К67/033, C05F3/06. Способ получения технологических (специализированных) пород компостного дождевого червя *Eisenia foetida* / А. М. Игонин. № 5025888/15; заявл. 29.10.1991; опубл. 27.04.1996. Бюл. № 13. 4 с.

Романов В. В., Любомирова В. Н. Биотестирование экологического состояния почв не-санкционированных свалок ТБО на территории Ульяновской области // Вестн. Ульян. гос. с.-х. академии. 2009. № 2. С. 72 – 75.

Рязанов Я. А. Энциклопедия по буровым растворам. Оренбург : Изд-во «Летопись», 2005. 664 с.

Саксонов М. Н., Балаян А. Э., Бархатова О. А., Стом Д. И. Использование биотестирования для контроля токсичности компонентов буровых растворов и бурового шлама // Нефть и газ. 2008. № 6. С. 32 – 38.

Смирнова Т. С. Разработка способов получения содержащих органофильные глины технических продуктов с улучшенными экологическими свойствами : дис. ... канд. тех. наук. М., 2011. 171 с.

Соловьев А. Я. Совершенствование качества буровых эмульсионных растворов применением реагентов комплексного действия : дис. ... канд. тех. наук. Уфа, 2003. 241 с.

Тунов А. В. Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 208 с.

Терехова В. А. Проверка безопасности искусственных почвогрунтов из органосодержащих отходов // Экология производства. 2010. № 2. С. 56 – 60.

Ягафарова Г. Г., Барахнина В. Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов // Нефтегазовое дело [Электрон. ресурс]. 2006. Вып. 1. С. 1 – 17. URL: http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova_2.pdf (дата обращения: 20.10.2013).

Curtis G. W., Growcock F. B., Candler J. E., Rabke S. P., Getliff J. Can synthetic based muds be designed to enhance soil quality? // AADE paper N 01-NC-HO-11, presented at the 2001 National drilling conference on «Drilling technology – the next 100 years». Houston, 2001. 6 p.

Dorn P. B., Salanitro J. P. Temporal ecological assessment of oil contaminated soils before and after bioremediation // Chemosphere. 2000. Vol. 40. P. 419 – 426.

Loibner A. P., Szolar O. H. J., Braun R., Hirmann D. Toxicity testing of 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons using Lumistox // Environ. Toxicol. and Chem. 2004. Vol. 23, № 3. P. 557 – 564.

McCosh K., Getliff J. Drilling fluid chemicals and earthworm toxicity // Proc. of the 10th Annual Intern. petroleum environmental conference. Aberdeen, 2003. P. 32 – 36.

Safwat H., Hanna S., Weaver R. W. Earthworm survival in oil contaminated soil // Plant and Soil. 2002. Vol. 240. P. 127 – 132.

Schaefer M. Earthworms in crude oil contaminated soils : Toxicity tests and effects on crude oil degradation // Environ. Asses. Remed. 2001. Vol. 8. P. 35 – 37.