

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ АГРОБИОЦЕНОЗОВ ПРИ НЕФТЕРОЗЛИВАХ

A.S. Fedotova, V.M. Melkozerov

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF AGROBIOCENOSSES SOIL CLEANING AND RECLAMATION UNDER OIL SPILLS

Федотова А.С. – канд. биол. наук, доц. каф. внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: krasfas@mail.ru

Мелкозеров В.М. – инженер центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: krasfas@mail.ru

Fedotova A.S. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Internal Noncontagious Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: krasfas@mail.ru

Melkozerov V.M. – Engineer of the Center of Preparation and Retraining of Experts of Oil and Gas Business, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: krasfas@mail.ru

Рассмотрены последствия загрязнения нефтью и нефтепродуктами пахотных земель, показана невозможность самовосстановления их при сильной степени техногенных поражений, влияние загрязнений на морфологию почв и аборигенные микроорганизмы. Раскрыто значение изменений свойств почвы, приведены данные об изменении механических, воздушно-физических и химических свойств почв под действием нефти. Приведены результаты исследования сорбционной способности различных модификаций полимерного сорбента «Униполимер». Установлено, что пикнометрическая плотность и порозность образцов различных модификаций полимерного сорбента «Униполимер» для широкого спектра нефтепродуктов близки по значениям, это свидетельствует о наличии в сорбентах открытых пор, проницаемых для всех видов нефтепродуктов. Однако время пропитки сорбентов различных модификаций значительно отличается. Подробно рассмотрен технологический процесс очистки нефти загрязненных почв с использованием мобильного комплекса. Произведено детальное описание компоновки мобильного комплекса для очистки грунтов и рекультивации почв и пахотных земель от нефтяных загрязнений. Мобильный комплекс состоит из тягово-силового агрегата, устройства для фрезерования, дозатора-

смесителя, агрегата для укладки очищенного грунта. В зависимости от регламента и алгоритма рекультивации загрязненной почвы в мобильном комплексе может изменяться глубина фрезерования почвы, степень разрыхления и аэрации. В статье доказано, что комбинированный способ очистки и рекультивации почв агробиоценозов позволяет значительно улучшить физико-механические, гидрологические характеристики почвы, что положительно влияет на почвенную микрофлору, участвующую в процессе биоремедиации нефти загрязненной почвы в климатических условиях Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: полимерный сорбент, почва, агробиоценозы, технология очистки.

The consequences of pollution of arable lands with oil and oil products are considered, the impossibility of self-restoration at strong extent of technogenic defeats, the influence of pollution on morphology of soils and native microorganisms is shown. The value of changes of properties of the soil was established, the data on the change of mechanical, air and physical and chemical properties of soils under the influence of oil were provided. The results of the research of sorption ability of various modifications of polymeric sorbent "Unipolimer" are given. It was established that the picnometric density and porosity of models of vari-

ous modifications of polymeric sorbent "Unipolimer" for a wide range of oil products were close in values, it testified to the existence in sorbents of open time, permeable for all types of oil products. However, the time of impregnation of sorbents of various modifications considerably differs. Technological process of purification of oil of the polluted soils with the use of a mobile complex was considered in detail. The detailed description of a mobile complex configuration was made for the purification of soil and recultivation of soils and arable lands of oil pollution. The mobile complex consists of the traction and power unit, the device for milling, the batcher mixer, the unit for laying of cleared soil. Depending on the regulations and algorithm of recultivation of polluted soil in a mobile complex the depth of milling of the soil, the degree of loosening and aeration can change. In the study it was proved that the combined way of cleaning and recultivation of soils of agrobiocenoses allowed to improve considerably physical and mechanical, hydrological characteristics of the soil that positively influenced the soil microflora participating in the course of bioremediation of oil of the polluted soil in climatic conditions of Siberia and the Far East.

Keywords: *polymeric sorbent, soil, agrobiocenoses, cleaning technology.*

Введение. Отличительной особенностью нефтяного загрязнения от других антропогенных воздействий является то, что оно создает мгновенную нагрузку на компоненты экосистемы, вызывая такие же быстрые реакции, связанные с биодеградацией экосистемы.

В случае нефтяного поражения экосистемы неоднозначна возможность возврата экосистемы к ее устойчивому прежнему состоянию. Мировая практика ликвидации проливов нефти имеет немало примеров, когда ликвидация пролива сопряжена с нанесением еще большего вреда экосистеме, не соизмеримого с воздействием нефти [3]. Рациональный принцип восстановления нефти загрязненной экосистемы – это создание оптимальных условий, в которых экосистема будет сама стремиться к восстановлению функции составляющих компонентов и связей между ними. Процесс самовосстановления компонентов агроэкосистемы (почва, вода, почвенный воздух, растения, живые организмы различного уровня организации) является дли-

тельным многостадийным биогеохимическим процессом преобразования (биодеградации) и взаимодействия углеводородной жидкости с объектами экосистемы.

Интенсивность влияния и степень патологического действия углеводородов на живые организмы вне зависимости от уровня организации определяется ее химическим и фракционным составом, которые зависят от месторождения и характеристики нефтеносного пласта. Степень морфологических изменений почвы определяется ее физико-механическими и химическими свойствами. Под действием нефти происходят морфологические изменения, чаще всего регистрируется обесструктурирование вследствие склеивания структурных компонентов, изменение границ горизонта, увеличение вязкости и плотности почвы.

Проливы нефти и нефтепродуктов на почву способствуют заполнению нефтью порового пространства, трещин и воздушных полостей и замещением в них почвенного воздуха. В результате почвы верхних горизонтов приобретают смолисто-черный цвет, почвы нижних горизонтов окрашиваются в коричнево-серый, сизо-коричневый и сизо-серый цвет. Низкая концентрация почвенного воздуха усугубляется нарушением процесса аэрации почвы в связи с образованием на поверхности битумной пленки. Водные осадки, попадающие на нефтепораженную почву при сильном загрязнении (более 20 000 мг/1 кг грунта), не способны произвести смачивание верхнего слоя, проникнуть к нижним слоям, в которых расположена корневая система растительного слоя, и, как правило, на поверхности осадков хорошо различимы радужные пленки. В результате в почве создается неблагоприятный водно-воздушный режим, изменяются свойства почвы: уменьшается гигроскопичность, влагоемкость, капиллярная и водоподъемная способность.

В условиях резкого ограничения аэрации почв формируются восстановительные условия, развивается процесс оглеения. В восстановительных процессах участвует анаэробная микрофлора, под действием гнилостных и бродильных микроорганизмов проходит образование недоокисленных, зловонных продуктов гниения – аммиака, сероводорода, метана, скатола, меркаптана.

Трансформация состава почвенных растворов в результате загрязнения изменяет рН почвы, изменяется миграционная активность, формы миграции и концентрации химических элементов в компонентах почвы.

Важным отрицательным результатом нефтяного загрязнения почв является ухудшение питательного режима – концентрации биогенных элементов (азота, калия, фосфора). При разливах нефтепродуктов в почве происходит резкое увеличение концентрации углеродов, при этом концентрация общего не изменяется. В почве чрезмерное количество углерода тормозит процесс аммонификации, в результате этого происходит накопление в большем количестве азотосодержащих веществ. В загрязненных почвах изменяется доступность подвижного фосфора и обменного калия, снижается ферментативная активность.

Нефтяное загрязнение почв вызывает изменение микробиологической активности, изменение видового разнообразия почвенных микроорганизмов. При нефтяных разливах увеличивается численность и активность углеводородоокисляющих микроорганизмов.

В результате процесса микробиологического разложения углеводов возможно ухудшение химического состава, физических, физико-механических свойств. При деструкции нефтяных соединений под воздействием микробных полисахаридов соединения подвергаются диспергированию, в результате в почвенном растворе увеличивается концентрация активных углеводов, вследствие увеличивается биологическая токсичность.

В результате накопления в почве токсичных промежуточных продуктов распада жирных кислот (углеводороды, альдегиды, кетоны) увеличивается фитотоксичность почвы. Токсические вещества, образующиеся в результате распада нефтепродуктов, попадают в водоносный горизонт, транспортируются сточными водами и, усваиваясь, накапливаются в вегетативной части растений.

Следовательно, загрязнение почвы нефтепродуктами коренным образом изменяет весь агробиоценоз, что наносит значительный ущерб природной среде. Восстановление поврежденных экосистем – задача сложная и

требует творческого подхода в выборе технологии.

Проблема рекультивации почв экосистем при загрязнении разливами нефтепродуктов является актуальной. Ликвидация разливов чаще всего проводится путем сжигания, засыпки участков чистым грунтом, вывозом загрязненной почвы в отвалы. Это приводит к необратимому уничтожению плодородного слоя почвы. Экономически эффективным, биологически и экологически безопасным способом сбора и утилизации нефтепродуктов является использование сорбентов.

Цель исследований: оценка сорбционных характеристик полимерного сорбента серии «Униполимер»; разработка эффективного способа рекультивации почв экосистем при загрязнении разливами нефтепродуктов.

Задачи исследований: определение сорбционных характеристик сорбента серии «Униполимер» двух модификаций на товарной нефти Куюмбинского месторождения, летнем дизельном топливе, бензинах марки А-93 и А-80; разработка мобильного комплекса по очистке, санации и рекультивации земель с высокой степенью загрязнения.

Методы и результаты исследований. Сорбционная способность сорбентов, созданных на основе полимерных композиций, изучена на линии «добыча – первичная подготовка – транспортировка нефтепродуктов» в климатических условиях холодного и арктического климата. Сорбенты используют для локализации растворителей, токсичных, ядовитых, химических, агрессивных, радиоактивных соединений, ионов тяжелых металлов, для очистки поверхностей гидросферы, литосферы, сточной, оборотной и технологической воды при проведении плановых и профилактических мероприятий, ликвидации аварийных техногенных ситуаций [1].

Для совершенствования процесса сбора и ликвидации проливов легколетучих, пожароопасных и токсичных органических жидкостей разработан полимерный сорбент «Униполимер» из нетоксичной модифицированной водорастворимой смолы [2]. Благодаря технологии вспенивания и отверждения, он имеет высокую пористость (84–93 %), большинство пор (до 90 %) являются сквозными, открытыми, сорбент гидрофобен, не поддерживает горение. В товар-

ном виде полимерная пена является сухим порошком, имеющим гранулы неправильной формы до 10–20 мм, легко поддающиеся вакуумированию. В отдельных случаях сорбент может выпускаться в виде компактных блоков толщиной от 50 до 150 мм, широко применяемых для локализации утечек в насосных перекачивающих станциях.

Сорбционные характеристики сорбента изучались методом капиллярной пропитки в условиях жидкофазного контакта с последующей статистической обработкой результатов. Материал в процессе времени смачивания находился в условиях действия поверхностных сил на границе раздела жидкость – сорбент. Основными факторами, определяющими сорбционную емкость сорбентов, являются: поверхностное натяжение, вязкость, косинус краевого угла смачивания [2].

Непрерывно регистрируемое изменение количества впитываемой жидкости позволило вычислить параметры капиллярной пропитки и

рассчитать условно-пикнометрическую плотность, порозность, сорбционную емкость ($m_{ж}/m_c$). Условно-пикнометрическая плотность вычисляется для каждой жидкости, так как является характеристикой сорбирования, учитывает объем замкнутых, тупиковых (не впитывающих) пор, дает возможность рассчитать значение порозности, характеризующее процент пористого пространства сорбента.

Изучение сорбционных характеристик двух модификаций полимерного сорбента серии «Униполимер» проводились на товарной нефти Куюмбинского месторождения, летнем дизельном топливе, бензинах марки А-93 и А-80. Нефть Куюмбинского месторождения обладала следующими характеристиками: плотность – 0,878–0,882 г/см³, сернистость – до 0,25 %. Результаты исследования двух модификаций полимерных сорбентов – высоко кратный (поглощающая способность 0,0068 г/см³), средней кратности (поглощающая способность – 0,0082 г/см³) приведены в таблице.

Результаты исследования сорбционных свойств полимерного сорбента «Униполимер»

Поглощаемая жидкость	Физико-химические свойства углеводорода				Характеристики сорбента			
	Плотность, г/см ³	η , мПа·с	σ , дин/см	$\cos\theta$	Плотность, г/см ³	$T_{угл}/T_{сорбента}$	Порозность, %	Время пропитки 1 см/с
Высоко кратный полимерный сорбент								
Дизельное топливо	0,840	4,31	28,40	0,832	0,0410	106,5	83,4	8,9
Бензин А-93	0,755	8,61	24,75	0,938	0,0716	109,7	90,5	4,8
Бензин А-80	0,710	14,88	21,84	0,981	0,0687	84,9	90,1	1,8
Нефть товарная	0,880	26,31	28,01	0,890	0,0422	120,0	83,9	173
Полимерный сорбент средней кратности								
Дизельное топливо	0,840	4,31	28,40	0,832	0,0451	105,1	81,8	23,4
Бензин А-93	0,755	8,61	24,75	0,938	0,0716	82,9	85,6	23,0
Бензин А-80	0,710	14,88	21,84	0,981	0,0687	65,1	84,2	3,9
Нефть товарная	0,880	26,31	28,01	0,890	0,0422	86,0	82,4	192

В результате работы определено, что пикнометрическая плотность и порозность образцов для широкого спектра нефтепродуктов близки по значениям, это свидетельствует о наличии в сорбентах открытых пор, проницаемых для всех

видов нефтепродуктов. Однако время пропитки сорбентов различной кратности значительно отличается, высоко кратный полимерный сорбент характеризуется большей скоростью пропитки, что уменьшает время использования и

положительно сказывается на скорости очистки и рекультивации почв агробиоценозов.

Одним из преимуществ полимерных сорбентов является возможность возврата собранных нефтепродуктов в оборот после отжима. Предварительно проведенные наблюдения позволили найти оптимальное давление до 2 кг/см^2 , обеспечивающее минимальные потери углеводов при отжиме и сохранение структуры полимерного сорбента. Вторичное использование полимерных сорбентов в условиях дефицита показывает, что предельным числом повторного использования сорбента следует считать пятикратное использование, после чего следует определить способ утилизации отработанного сорбента и остатка углеводов.

Техническая задача очистки и рекультивации почв агробиоценозов была направлена на разработку и создание мобильного комплекса с расширением функционально-технических и технологических задач по очистке, санации и рекультивации земель с высокой степенью загрязнения нефтепродуктами, независимо от сроков загрязнения, рельефа местности и погодных условий [4].

Мобильный комплекс (рис.) представляет собой тягово-силовую агрегат 1, например гусеничный трактор, мощностью 90–130 кВт, впереди которого расположен отвал в виде скребкового ножа 2 и прицепная платформа, на которой установлено фрезерное устройство 3 для снятия нефтесорбированной почвы; опорные колеса 4 прицепного устройства; трехсекционный бункер для сыпучих материалов 5; бак для жидких реагентов 6; агрегат укладки почвы 7; дозатор-смеситель препарата 8, в котором установлены шнеки 11; системы привода агрегатов комплекса 9 кардана от вала отбора мощности 10 [5].

Основные технические и эксплуатационные характеристики мобильного комплекса: мощность силового агрегата 90–140 кВт; трехсекционный бункер для сыпучих материалов грузочной емкостью $1,5 \text{ м}^3$; гидробак-емкость для эмульсий и жидких реагентов объемом $0,8 \text{ м}^3$; частота вращения фрезы 300–400 об/мин; скорость движения 3–5 км/час; габаритные размеры – длина 6,5 м, ширина 3,5 м, высота 2,6 м. Максимальная глубина среза-фрезерования грунта – 0,45 м, производительность в зависимости от степени загрязнения, структуры и

свойства грунтов колеблется в пределах 0,015–0,05 га/ч. Количество обслуживающего персонала – 1 человек.

В процессе работы мобильного комплекса отвалом (скребковым ножом) удаляются погибшие кустарники, далее механизм фрезерования срезает и фрезерует загрязненную нефтепродуктами почву, разрыхляет на мелкие отдельные фракции, ослабляя и разрушая при этом адгезионные связи между частицами почвы и нефтью. Разрыхленная почва подается в дозатор-смеситель, в котором установлены шнеки с дифференцированным шагом (на чертеже не показаны) для качественного, равномерного перемешивания и внедрения в массу грунта сорбентов, удобрений, мелиорантов-аэрантов, с учетом свойств сорбентов и их структуры [6, 7]. В зависимости от степени загрязнения почвы высота срезаемого слоя земли для фрезерования колеблется от 50 до 400 мм.

Обработанная масса земли подается в агрегат укладки, который имеет формирующую камеру, выполненную с трапецеидальными вырезами, создающими переменное сечение для повышения эффективности задержания влаги в бороздах в летний период и снега в зимний период.

Преимущества способа очистки и рекультивации земель с помощью мобильного комплекса – это высокая проходимость и надежность работы комплекса независимо от рельефа местности и погодных условий; мобильность, оперативность и автономность работы при очистке и рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами. Конструктивная особенность мобильного комплекса позволяет производить работы по санации, рекультивации загрязненной почвы с последующей ее минерализацией и одновременной посадкой семян дикорастущих многолетних трав, при подготовке почв к агро-мелиорации (рыхление, насыщение воздухом). В зависимости от регламента и алгоритма необходимых технологических операций в мобильном комплексе устанавливается глубина фрезерования почвы, степень разрыхления и аэрации. Регулируется подача сорбентов в дозатор-смеситель и толщина укладки на очищаемую поверхность при рекультивации почвы. Комбинированный способ очистки грунтов и рекультивации почв агробиоценозов позволяет

значительно улучшить физико-механические, гидрологические характеристики почвы, что оказывает положительное влияние на почвенную микрофлору, участвующую в процессе

биоремедиации нефти загрязненной почвы в климатических условиях Сибири и Дальнего Востока [8, 9].

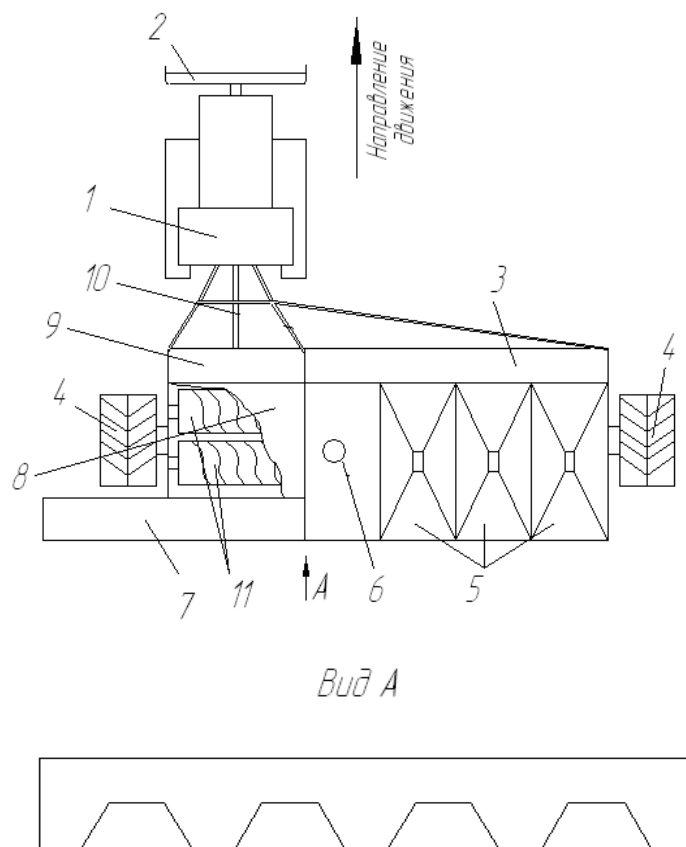


Схема мобильного комплекса для очистки грунтов и рекультивации почв и пахотных земель от нефтяных загрязнений

Выводы. Полученные результаты позволяют рекомендовать высоко кратный полимерный сорбент серии «Униполимер» для использования при рекультивации почв при нефтяных разливах.

Применение высоко кратного полимерного сорбента серии «Униполимер» уменьшает время использования, что положительно сказывается на скорости очистки и рекультивации почв агробиоценозов. Для внесения сорбента в почву предлагается мобильный комплекс. Использование мобильного комплекса позволит эффективно проводить работы по очистке и рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами.

Литература

1. Об охране окружающей среды: федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ // Справочно-правовая система «Консультант Плюс». – URL: <http://www.consultant.ru>.
2. Мелкозеров В.М., Васильев С.И. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование при разработке эксплуатации нефтяных месторождений, транспортировке нефти и нефтепродуктов // Lambert Academic Publishing. – Germany, 2011. – 259 с.
3. Каменьщиков Ф.А., Богомольный А.В. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006.

4. Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Вельп А.Я. Исследование эксплуатационных характеристик модифицированных многоцелевых карбамидных поропластов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М., 2010. – № 8. – С. 34–39.
5. Евразийский пат. № 021690 Российская федерация, В 09/С1/00 (2006.01). Мобильная многофункциональная установка для очистки и рекультивации почв и пахотных земель от нефтяных загрязнений / Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Марьянчик Д.И., Бежелева А.В.; Сибирский федеральный университет / 201200680; заявл. 2012.05.30; опубл. 31.08.2015.
6. Лапушова Л.А., Васильев С.И. Результаты исследования структуры полимерных сорбентов «Униполимер-М» для ликвидации техногенных разливов нефти и нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 6. – С. 17–21.
7. Пат. РФ № 2587440 МПК В01J20/26. Композиция для получения сорбента на основе карбамидоформальдегидной смолы / Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Лапушова Л.А. – Красноярск, 2016.
8. Бежелева А.В., Васильев С.И. Экологические аспекты загрязнения почв Восточной Сибири // Тр. Брат. гос. ун-та. Сер. «Естественные и инженерные науки – развитию регионов России». – Братск : Изд-во Брат. гос. ун-та, 2012. – Т. 1. – С. 93–95.
9. Решение медико-экологических проблем с использованием современных технологий / Е.И. Прахин [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – Братск, 2014. – № 4. – С. 166–169.
3. Kamen'shnikov F.A., Bogomol'nyj A.V. Udalenie nefteproduktov s vodnoj poverhnosti i grunta. – М.; Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovanij, 2006.
4. Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Vel'p A.Ja. Issledovanie jekspluatacion-nyh harakteristik modifirovannyh mnogocelevyh karbamidnyh poroplastov // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. – М., 2010. – № 8. – С. 34–39.
5. Evrazijskij pat. № 021690 Rossijskaja federacija, В 09/С1/00 (2006.01). Mobil'naja mnogofunkcional'naja ustanovka dlja ochistki i rekul'tivacii pochv i pahotnyh zemel' ot neftjanyh zagraznenij / Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Mar'janchik D.I., Bezheleva A.V.; Sibirskij federal'nyj universitet / 201200680; zajavl. 2012.05.30; opubl. 31.08.2015.
6. Lapushova L.A., Vasil'ev S.I. Rezul'taty issledovanija struktury polimernyh sorbentov «Unipolimer-M» dlja likvidacii tehnogennyh razlivov nefti i nefteproduktov // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. – 2015. – № 6. – С. 17–21.
7. Pat. RF № 2587440 МПК В01J20/26. Kompozicija dlja poluchenija sorbenta na osnove karbamidoformal'degidnoj smoly / Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Lapushova L.A. – Krasnojarsk, 2016.
8. Bezheleva A.V., Vasil'ev S.I. Jekologicheskie aspekty zagraznenija pochv Vostochnoj Sibiri // Tr. Brat. gos. un-ta. Ser. «Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiju regionov Rossii». – Bratsk : lzd-vo Brat. gos. un-ta, 2012. – Т. 1. – С. 93–95.
9. Reshenie mediko-jekologicheskikh problem s ispol'zovaniem sovremennyh tehnologij / E.I. Prahin [i dr.] // Sistemy. Metody. Tehnologii. – Bratsk, 2014. – № 4. – С. 166–169.

Literatura

1. Ob ohrane okruzhajushhej sredy: feder. zakon. ot 10.01.2002 № 7–FZ // Spravochno-pravovaja sistema «Konsul'tant Pljus». – URL: <http://www.consultant.ru>.
2. Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I. Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'noe