

## Исследование процессов миграции и трансформации смазочно-охлаждающих жидкостей в почве урбанизированной территории

© 2018. Л. М. Щуклина<sup>1</sup>, аспирант, Г. М. Батракова<sup>1</sup>, д. т. н., доцент,  
Т. В. Нурисламова<sup>1,2</sup>, д. б. н., профессор,

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29,

<sup>2</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий  
управления рисками здоровью населения,  
614045, Россия, г. Пермь, ул. Монастырская, 82,  
e-mail: eco@pstu.ru

Актуальность работы определяется требованиями экологической безопасности при строительстве на территориях с выявленным техногенным загрязнением почв. В работе рассматривается применение хромато-масс-спектрометрии в исследовании загрязнённого грунта с целью идентификации продуктов трансформации в природных условиях многокомпонентных рецептур смазочно-охлаждающих жидкостей. Выполнена идентификация и поиск по масс-спектрам компонентного состава продуктов трансформации индустриального масла, предложено маркерное соединение. Показана возможность идентификации на основании регистрации масс-спектров ионов химических соединений, определена структура и элементный состав. Поиск характеристических ионов органических соединений выполнялся с помощью банка библиотеки масс-спектральных данных. Установлены характеристические ионы (основной и подтверждающие ионы), характеризующие структуру химических соединений и определено хроматографическое время удерживания. Для оценки миграции маркерного соединения выполнено его количественное определение методом капиллярной газовой хроматографии в пробе воздуха и пробах загрязнённого грунта; исследованы образцы грунта у основания ёмкости, образцы маслоудерживающей ткани и фильтрат из поддона.

Результаты исследования направлены на обоснование методики оценки загрязнения промышленных площадок смазочно-охлаждающими жидкостями с учётом трансформации органического загрязнителя и рекомендаций по рекультивации загрязнённых технозёмов.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающие жидкости, маркер, летучие органические соединения (ЛОС), толуол, хромато-масс-спектрометрические исследования, характеристические ионы, масс-спектр, почвогрунт, технозём.

## Study of migration and transformation of greasing and cooling fluids in the soil of urbanized area

© 2018. L. M. Shchuklina<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4096-9556<sup>1</sup>

G. M. Batrakova<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4549-517X<sup>1</sup>

T. N. Nurislamova<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-2344-3037<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolskiy Prospect, Perm, Russia, 614990,

<sup>2</sup>Federal Center Scientific Center for Medical and  
Preventive Health Risk Management Technologies,  
82, Monastyrskaya St., Perm, 614045,

e-mail: eco@pstu.ru

Relevance of the work is determined by the requirements of ecological safety in the industrial and civil construction in areas with identified technogenic soils' pollution. The paper considers the use of chromatography-mass spectrometry in a study of polluted soil in order to identify transformation products under natural conditions of multicomponent formulas of lubricating fluids. The identification and search by mass spectra of the component composition of the industrial oil transformation products was carried out, a marker compound is proposed. The possibility of structure and element composition identification on the basis of registration of mass spectra of chemical compounds is shown. The search for characteristic ions of organic compounds was carried out using a bank of the mass-spectral data library. The characteristic

ions (basic and sustaining) describing the structure of chemical compounds and the chromatographic retention time are determined. To assess the migration of the marker compound, a quantitative determination of the marker compound was made by capillary gas chromatography in air and polluted soils samples. Soil samples at the bottom of the vessel, samples of oil-retaining tissue and filtrate from the pallet were examined.

The results of the research are aimed at justifying the method for assessing the contamination of industrial sites with lubricating fluids, taking into account the transformation of the organic pollutant and recommendations for the recultivation of polluted technozems.

**Keywords:** lubricating fluids, marker, volatile organic compound, toluene, chromatography-mass spectrometry study, characteristic ions, mass spectrum, soil, technozem.

На завершающем этапе жизненного цикла промышленных объектов нефтехимической, химической отрасли, предприятий специального машиностроения при их полной ликвидации и реконструкции устаревших производств недостаточно внимания уделяется проблемам снижения загрязнения почвы и подстилающих грунтов. Почвы и грунт на территории длительно функционировавших промышленных предприятий могут быть сильно загрязнены, а в процессе подготовки и проведения строительных работ могут измениться условия, определяющие их способность удерживать загрязнение [1, 2].

В мировой практике известен опыт освоения производственных территорий ранее занятых промышленными предприятиями, например, проекты санации полигонов захоронения отходов, проекты нового строительства на территориях военных заводов, портовых терминалов, устаревших транспортных узлов в странах Европы и Америки [3–6]. Опыт ликвидации производств специальной химии имеется и в России, когда в рамках Федеральной программы химической и биологической безопасности ликвидировались производства химического оружия, взрывчатых веществ, мазутные хозяйства. Проекты реновации промышленной территории в обязательном порядке включали работы по исследованию загрязнённой почвы и техногенных поверхностных образований [7].

Почвы промышленных территорий отличаются от природных почв по генезису, строению и механизмам влаго- и массобмена. Физико-механические характеристики почв влияют на диффузионную проницаемость, изменение температурно-влажностного режима и аэрация при освоении площадки влияют на процессы трансформации и миграции загрязнения.

В научно-технической литературе недостаточно сведений о миграции и трансформации в почвенных условиях органических соединений из номенклатуры смазочно-охлаждающих жидкостей. Для обоснования

способа восстановления почв актуально изучить изменение состава загрязнителя (СОЖ) и факторы, влияющие на процессы массопереноса этого типа загрязнения.

Смазочные охлаждающие жидкости – обобщённое наименование рецептур на основе композиций из минеральных масел, жирных кислот и их эфиров, поверхностно-активных веществ, гидроксида щелочного металла и др. К номенклатуре СОЖ относятся моторные, промышленные масла и гидравлические жидкости, составы для обработки металлов. Современные СОЖ содержат антикоррозионные, противоизносные, противозадирные, биоцидные добавки и присадки. Наиболее распространённые СОЖ представляют собой нефтяные масла и их 3–10% водные эмульсии. Компоненты СОЖ имеют разную степень токсичности, ряд соединений масляных фракций характеризуется канцерогенностью [8–10]. Для снижения неблагоприятного воздействия на объекты окружающей среды составы СОЖ регламентированы, работы с их использованием жёстко контролируются. Основное внимание уделяется снижению риска профессиональных заболеваний, нормированию и контролю допустимого загрязнения воздуха в рабочей зоне, меры по предотвращению загрязнения водных объектов при транспортировке и хранении СОЖ, меры противопожарной защиты и условия санитарно-эпидемиологического благополучия работающих [10].

К мероприятиям обеспечения экологической безопасности относится требование учёта объёмов использования и отходов загрязнённых СОЖ. Распространённым методом изолирования проливов и утечки СОЖ является отсыпка загрязнённого участка нейтральным по отношению к загрязнителю материалом (песчано-гравийной смесью, перемещённым незагрязнённым грунтом и др.). Серьёзную опасность для окружающей среды представляют пролив с образованием линз загрязнения, из которых маслоподобная жидкость может распространяться по профилю зоны аэрации

Таблица 1 / Table 1

Показатели для оценки уровня загрязнения почв органическими соединениями Indicators for the assessment of soil pollution by organic compounds

Органические соединения Organic compounds	Критерии экологической оценки загрязнения почв и грунтовых вод / Indicators for the assessment of soil and groundwater pollution
Ароматические углеводороды Aromatic hydrocarbons	сумма моноароматических углеводородов, бензол, толуол, ксилол, этилбензол / sum of monoaromatic hydrocarbons, benzene, toluene, xylene, ethylbenzene
Алифатические галоген-замещённые углеводороды Aliphatic halogen-substituted hydrocarbons	летучие галогенозамещённые углеводороды, летучие хлорированные углеводороды, монохлорэтен / volatile halogen-substituted hydrocarbons, volatile chlorinated hydrocarbons, monochlorethene
Ароматические галоген-замещённые углеводороды Aromatic halogen-substituted hydrocarbons	сумма полихлорированных бифенилов, хлорбензолы, хлорфенолы / sum of polychlorinated biphenyl, chlorobenzenes, chlorophenols
Фенолы / Phenols	фенолы в целом, фенолы летучие под водяным паром, метанол, изопропанол, гликоль / total phenols, volatile phenols under water vapour
Нефть / Oil	нефтяные углеводороды / oil hydrocarbons

до водоносных горизонтов, что приведёт к обострению экологической проблемы [10–16].

При оценке химического загрязнения почв бывших промышленных территорий используются методические подходы для оценки загрязнения почв и грунтовых вод, рекомендованные в Германии и Голландии (СНиП 11-102, приложение А). Предполагаемое техногенное загрязнение почвы требует предварительной идентификации класса органических соединений и последующей количественной оценки индивидуальных веществ (табл. 1).

Цель работы – исследование трансформации и миграции органических соединений из состава СОЖ в натурном эксперименте.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлся насыпной грунт (технозём), загрязнённый СОЖ. В качестве широко распространённого состава СОЖ использовали безприсадочное индустриальное масло И-40А общего назначения, которое представляет дистиллятное масло или смесь дистиллятного масла из сернистой и малосернистой нефти после очистки (ГОСТ 20799). Для моделирования процесса разлива СОЖ поставлен эксперимент, в основу которого положен метод экспериментальной заливки почвы известным количеством загрязнителя [17]. Ёмкость объёмом 200 литров с перфорированным дном заглублена в грунт, нижняя часть ёмкости заполнена гравием, на

гравий уложена маслоулавливающая ткань (рис. 1). Ёмкость не была изолирована от внешней среды, установлена на поддон для сбора фильтрационной воды. Заполнение ёмкости насыпным грунтом выполнено после монтажа установки. Эксперимент длился в течение календарного года, отбор проб загрязнённого грунта из ёмкости выполнялся 1 раз в квартал. За исключением зимнего периода, дренажную воду (фильтрат) из поддона анализировали после демонтажа установки.

Программа эксперимента заключалась в следующем: на начальном этапе выполнена идентификация и поиск по масс-спектрам компонентного состава продуктов трансформации индустриального масла и выявления маркерного соединения; далее выполнено количественное определение маркерного соединения методом капиллярной газовой хроматографии в пробах загрязнённого грунта при послойном отборе проб из ёмкости (0–18; 18–38 и 40–60 см) и в пробах почвенного воздуха; после демонтажа установки исследованы образцы грунта у основания ёмкости, образцы маслоудерживающей ткани и фильтрат из поддона.

Состав индустриального масла исследован методом хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на газовом хроматографе Agilent 7890А (USA) с квадрупольным масс-селективным детектором (MCD) 5975С. Режим ионизации электронным ударом при 70 эВ. Для исследований использовали капиллярную колонку серии HP-FFAP длиной 30 метров, внутрен-

ним диаметром 0,25 мм и толщиной плёнки неподвижной фазы 0,25 мкм. Параметры ГХ-МС и МСД: температура колонки 200 °С, температура испарителя – 270 °С, ток эмиссии 70 эВ, режим сканирования толуола по масс-селективному иону.

Идентификация химических соединений выполнена по масс-спектрам с помощью баз данных и компьютерного библиотечного поиска, которая позволила установить химический состав образцов газовой смеси; основные и подтверждающие ионы химических соединений; время удерживания химических соединений; химическую структуру обнаруженных химических соединений [18–19].

Для расшифровки результатов масс-спектрометрического анализа использованы библиотеки масс-спектральных данных NIST08.L (около 300 000 масс-спектров), WILEY275.L (около 450 000 масс-спектров) и PMW\_TOX2.L для ручной идентификации [20].

Для количественного определения летучих органических соединений (ЛОС) и маркерного соединения проведены дополнительные исследования методом капиллярной газовой хроматографии в соответствии с методикой РД 52.04.186-89 [21]. Исследование воздуха выполнено на хроматографе «Кристалл-5000»

с использованием детектора ионизации в пламени и капиллярной колонки HP-FFAP 50 м x 0,32 мм x 0,5 мкм. По данной методике также определяли количественное содержание ЛОС в пробах почвенного воздуха.

Анализ проб почвы выполнен по методике ГХ-МС определения летучих органических веществ в почве и отходах (МУК 4.1.1061-01). Для исследования фильтрата использованы методические указания по газохроматографическому определению ароматических углеводородов в воде (МУК 4.1.650-96). Методики обеспечивали выполнение измерений с погрешностью, не превышающей ±20% при доверительной вероятности 0,95.

### Результаты и обсуждение

Диффузионная проницаемость разных типов почв и грунта зависит от морфологических особенностей и физико-химических свойств. Для насыпного незагрязнённого грунта стандартными методами почвенных исследований проведено определение морфологического, гранулометрического состава и физико-механических свойств. Использованный в эксперименте грунт по составу и

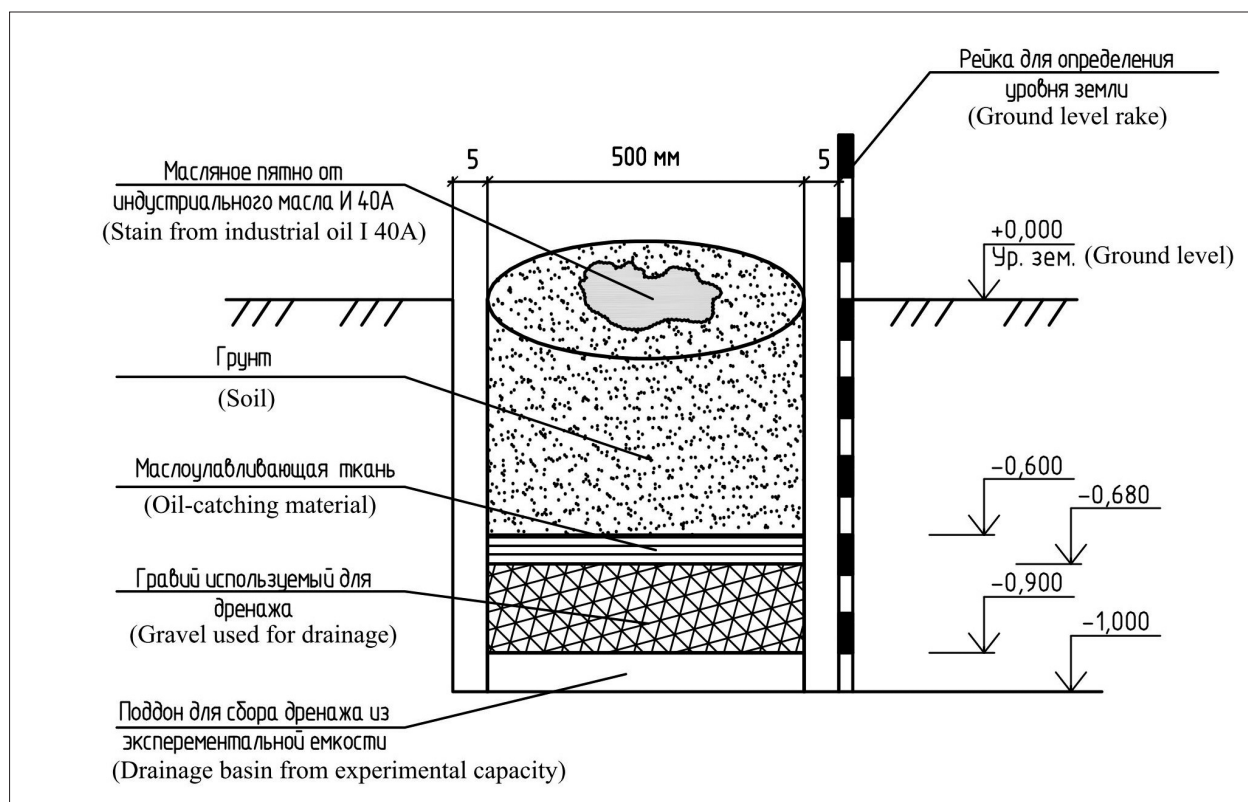


Рис. 1. Схема установки для моделирования условий вертикальной миграции загрязнителя  
 Fig. 1. The scheme of the installation for modeling the conditions of migration of the pollutant

характеристикам приближен к грунтам части промышленной зоны города; почвообразующие породы – пески и супеси древнеаллювиального и водноледникового происхождения, песчаные отложения представлены песком мелкозернистым, глиной и суглинком от мягкопластичной до текучей консистенции. Коэффициент фильтрации незагрязнённого насыпного грунта – 0,5, исходная влажность – 0,148 доли единиц, по результатам исследования водной вытяжки определено значение рН = 7,22±0,10 ед. рН (ГОСТ 26423) и содержание органического вещества – менее 1,0% (ГОСТ 26213).

Технозёмы относят к гетерогенным аккумулярующим системам, в которых движение потока загрязнителя между фазами загрязнённых и условно чистых слоёв является сложным. При описании процесса необходимо учитывать физико-химические свойства загрязнителя, возможность его трансформации при взаимодействии с твёрдой фазой, индивидуальные особенности связывания (удерживания) под влиянием внешних условий.

**Идентификация химического состава индустриального масла (И-40А)** выполнена методом ГХ-МС. Масс-спектрометрическое детектирование выполнено в режиме полного сканирования, при этом регистрировались масс-спектры, по которым проведена идентификация компонентов в пробе воздуха. Для регистрации масс-спектров химических соединений выполняли идентификацию в режиме SCAN. Производилось непрерывное сканирование масс от 38 до 500 а. е. м. со скоростью 3,14 скан в секунду.

**Определение маркерных углеводородов из состава индустриального масла.** Сканирование углеводородов исследуемой пробы воздуха по всему диапазону масс позволило идентифицировать 14 масс-спектров органических соединений со значением коэффициента совпадения с библиотечными данными 4–96% (табл. 2) и 8 масс-спектров органических соединений со значением коэффициента совпадения с библиотечными данными 80–96%. Результаты идентификации углеводородов в пробе воздуха по показателю качества совпадения с библиотечными данными представлены в таблице 2.

Фрагмент хроматограммы представлен на рисунке 2. Достоверность идентификации определяемых соединений была подтверждена сравнением масс-спектров с масс-спектрами, заложенными в банк библиотеки масс-спектральных данных NIST 08.L. Каждый интенсивный пик спектрограммы сопоставлен с соответствующими массами ионов исследуемой спектрограммы. Сравнение масс-спектра толуола с его библиотечным спектром представлено на рисунке 3. Вероятность совпадения масс-спектра толуола с библиотечными данными составила 90%.

Газохроматографический анализ и расшифровка состава показали, что основными компонентами в составе индустриального масла являются ЛОСы (толуол, бензол, этилбензол, о-, п-, м-ксилолы) с преобладанием толуола – 3,46 мг/м<sup>3</sup>. Другие компоненты определены в значительно меньшем количестве: бензол – 0,043 мг/м<sup>3</sup>, этилбензол – 0,0018 мг/м<sup>3</sup>, п-, м-ксилол – 0,037 мг/м<sup>3</sup>, о-ксилол – 0,0043 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2 / Table 2  
Результаты идентификации пробы воздуха / Results of air sample identification

Ингредиент / Ingredient		Класс опасности Hazard Class	Вероятность совпадения Probability of coincidence, %
Наименование по банку библиотеки масс-спектральных данных Name according to the bank of the library of mass-spectral data	Наименование загрязняющего вещества Name of pollutant		
Toluene	Толуол / Toluene	3	90
Cholesta-3,5-diene	Холеста-3,5-диен Cholesta-3,5-diene	Молекулярное загрязнение Molecular contamination	96
Cholesteryl benzoate	Холестерил бензоат Cholesteryl benzoate		93
Benzenesulfonamide, N-butyl	Бензолсульфонамид, н-бутил Benzenesulfonamide, N-butyl		87
Phenol, 2-methyl-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)	Фенол, ди-метил-4(1,1,3,3)-тетрамтилбутил Phenol, 2-methyl-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)	3	60

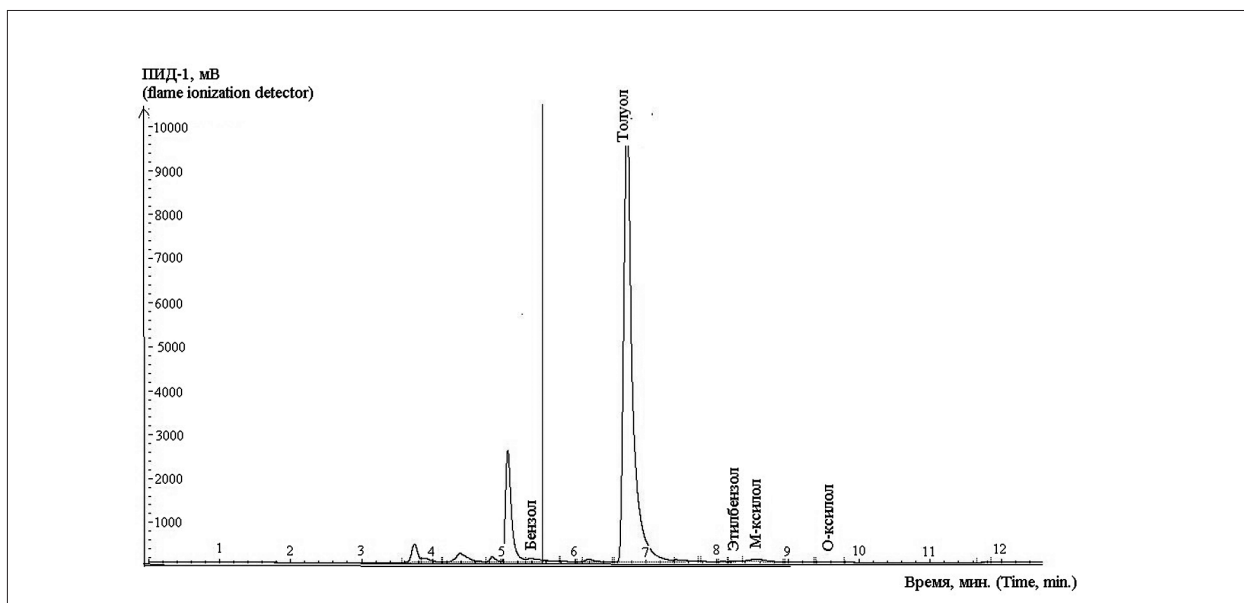


Рис. 2. Идентификация маркерных соединений из состава индустриального масла  
 Fig. 2. Identification of marker compounds from industrial oil

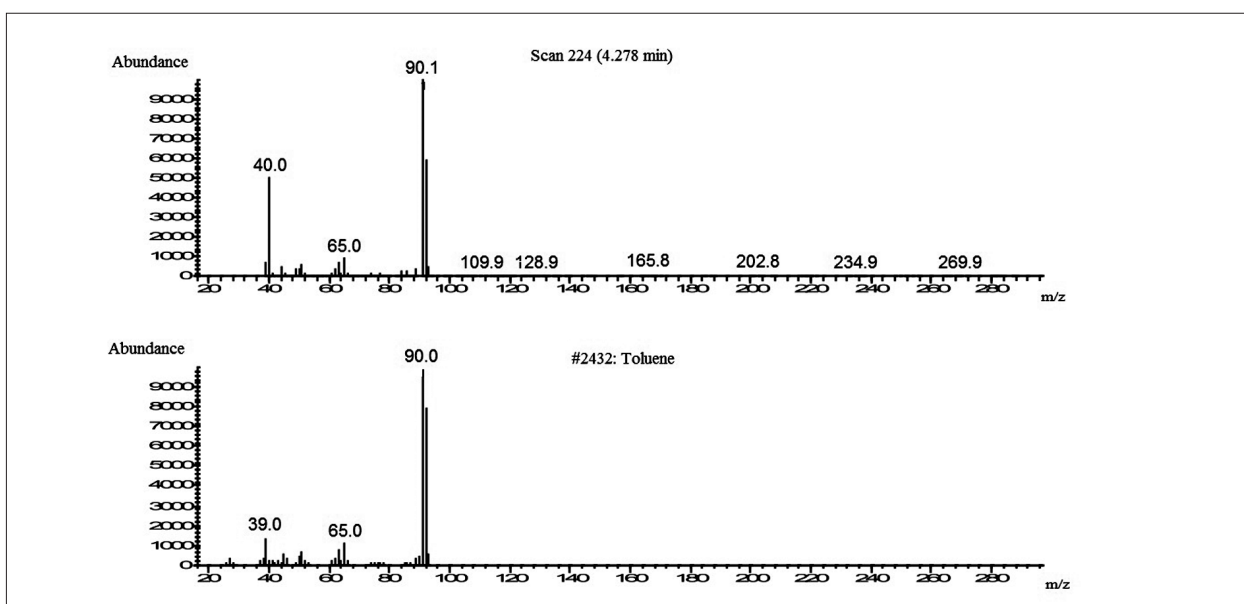


Рис. 3. Масс-спектр толуола из библиотеки NIST  
 Fig. 3. The toluene mass spectrum from the library NIST

Для дальнейших исследований загрязнённого грунта из экспериментальной установки в качестве продуктов трансформации индустриального масла принято содержание ЛОС, содержание толуола использовано в качестве маркерного показателя.

**Результаты определения ЛОС в экспериментальной установке.** На последующих этапах исследований были предусмотрены опробование грунта по всей глубине ёмкости и сравнительная оценка содержания в пробах грунта моноароматических углеводородов.

Установленное содержание летучих соединений в пробах грунта было ниже допустимых нормативных значений для почв, остаточное содержание составляло 0,33 ПДК по ксилолам, 0,14 ПДК – по толуолу; для бензола – на уровне предела обнаружения методики. Это связано с характерным для рассматриваемых соединений показателем вредности – воздушно-миграционным и транслокационным. Содержание бензола в пробах почвы практически не менялось по этапам исследований, содержание толуола и ксилолов менялось

по профилю ёмкости. Максимальные концентрации всегда фиксировались в верхнем горизонте загрязнённого грунта (0–15 см) и были в два и более раза больше концентраций, установленных в пробах с середины (15–35 см) и глубины шурфа. Остаточное содержание продуктов трансформации СОЖ в пробах грунта по профилю модельной ёмкости представлено в таблице 3.

Наибольшее загрязнение грунта из ёмкости было зафиксировано при демонтаже установки в виде локального объёма грунта в пристеночном пространстве на глубине. Содержание толуола в этой пробе грунта составило  $2,84 \pm 0,56$  мг/кг, в образце маслосодержащей ткани –  $4,80 \pm 0,96$  мг/кг. Таким образом, высокая проницаемость использованного в модельной установке насыпного грунта и атмосферные осадки способствовали продвижению загрязнителя по профилю ёмкости и его аккумуляции в нижнем слое грунта. Вероятно, что грунты с меньшей диффузионной проницаемостью ограничивали бы глубину миграции органических соединений.

Хорошая удерживающая способность гидроизоляционного материала, использованного в модельной установке, позволила предотвратить загрязнение природной почвы и верховодки. После демонтажа экспериментальной установки отобрана проба фильтрата из поддона, в котором собиралась дренажная вода. При исследовании фильтрата установлены следующие концентрации моноароматических соединений: бензол –  $0,002$  мг/дм<sup>3</sup>, толуол –  $0,001$  мг/дм<sup>3</sup>, ксилолы –  $0,004$  мг/дм<sup>3</sup>.

Исследование проб почвенного воздуха в шурфе выполнялось по методике газогеохимических исследований. На каждом из трёх этапов исследования, после проведения отбора проб грунта, полость (шурф глубиной 60 см) накрывалась ёмкостью, и затем выполнялся отбор проб почвенного воздуха с последующим количественным определением углеводородов. Результаты исследований представлены в таблице 4. Содержание загрязняющих веществ не превышало допустимых значений.

**Таблица 3 / Table 3**

Содержание летучих соединений в пробах грунта  
The content of volatile compounds in soil samples

Этап исследования Research stage	Глубина отбора пробы, см Depth of sampling, cm	Содержание, мг/кг / Content, mg/kg		
		бензол benzene	толуол toluene	о,м,п-ксилол o-,m-,p-xylene
1	0–18	$0,0030 \pm 0,0006$	$0,0420 \pm 0,0084$	$0,099 \pm 0,0198$
	18–38	$0,0030 \pm 0,0006$	$0,0220 \pm 0,0044$	$0,050 \pm 0,01$
	40–60	$0,0010 \pm 0,0002$	$0,0020 \pm 0,0044$	нпо / BDL
2	0–18	$0,0010 \pm 0,0002$	$0,0020 \pm 0,0044$	$0,001 \pm 0,0002$
	18–38	нпо / BDL *	$0,0010 \pm 0,0002$	$0,001 \pm 0,0002$
	40–60	нпо / BDL	$0,0010 \pm 0,0002$	нпо / BDL
3	0–18	$0,0030 \pm 0,0006$	$0,0280 \pm 0,0056$	$0,005 \pm 0,01$
	18–38	$0,0020 \pm 0,0004$	$0,0030 \pm 0,0006$	нпо / BDL
	40–60	$0,0020 \pm 0,0004$	$0,0030 \pm 0,0006$	нпо / BDL
Величина ПДК, мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06) MPC, mg/kg (Hygiene Regulations 2.1.7.2041-06)		0,3	0,3	0,3

Примечание \* нпо – ниже предела обнаружения  
Note: BDL – below detection limit.

**Таблица 4 / Table 4**

Содержание летучих соединений в пробах почвенного воздуха  
The content of volatile compounds in soil air samples

Наименование загрязняющего вещества Name of pollutant	ПДК мг/м <sup>3</sup> MPC mg/m <sup>3</sup>	Содержание в почвенном воздухе по этапам исследования, мг/ м <sup>3</sup> / Content in soil air in terms of research stage, mg/m <sup>3</sup>		
		1 этап / stage 1	2 этап / stage 2	3 этап / stage 3
Бензол / Benzene	0,3	0,021	0,0075	0,0048
Толуол / Toluene	0,6	0,003	0,0078	0,0042
О-ксилол / O-Xylene	0,2	0,005	0,0185	0,0052

## Заключение

Анализ информации о составе и свойствах компонентов СОЖ позволили предположить, что продуктами трансформации сложного компонентного состава индустриального масла могут быть моноароматические углеводороды и летучие ароматические соединения.

Хромато-масс-спектрометрический анализ актуален в условиях недостаточно полных данных о фактическом состоянии объекта исследования, имеет возможность с большой степенью вероятности выявить качественный и с высокой точностью – количественный состав. Установлены продукты трансформации индустриального масла (И-40А): толуол – 3,46 мг/м<sup>3</sup>, бензол – 0,043 мг/м<sup>3</sup>, этилбензол – 0,0018 мг/м<sup>3</sup>, ксилолы – 0,0043 мг/м<sup>3</sup>. Для дальнейших исследований в качестве контролируемых показателей принято содержание ЛОС, содержание толуола использовано в качестве маркера.

При опробовании грунта на содержание ЛОС установлено их остаточное содержание ниже допустимых нормативных значений для почв – 0,33 ПДК по ксилолам, 0,14 ПДК по толуолу, для бензола – на уровне предела обнаружения методики, что связано с характерным для рассматриваемых соединений воздушно-миграционным показателем вредности. Высокая проницаемость насыпного грунта и атмосферные осадки способствовали продвижению загрязнителя с поверхности по всей глубине ёмкости и его аккумуляции в нижнем слое грунта. Маслоудерживающая ткань явилась эффективным барьером для миграции загрязнения в грунтовые воды.

Обобщение и анализ полученных результатов позволят обосновать методику оценки загрязнения промышленных площадок СОЖ с учётом трансформации загрязнителя, применить полученные результаты в рекомендациях по рекультивации загрязнённых технозёмов.

## Литература

1. Кашперюк А.А., Кашперюк П.И. Специфика инженерно-геологических изысканий на ранее освоенных и повторно используемых для строительства городских территориях // Инженерные изыскания, 2014. № 13–14. С. 53–57.
2. Галицкая И.В., Позднякова И.А. К проблеме загрязнения подземных вод и пород зоны аэрации нефтепродуктами и ПАУ на городских территориях // Геоэкология, инженерная геология, гидроэкология, геокриология. 2011. № 4. С. 337–343.

3. Гончаренко У.Н., Савостенко В.А. Современные тенденции реновации промышленных территорий // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. 2017. № 2. С. 74–80.
4. Фомина Е.Ю. Санирование промышленных зон. Учеб. пособие. Иркутск: ИрГТУ, 2009. 118 с.
5. Huang W.H., Kao C.M. Bioremediation of petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater under sulfate-reducing conditions: effectiveness and mechanism study // Journal of Environmental Engineering, ASCE. 2016. V. 142. No. 3. P. 04015089.
6. Florencio L., Kato M.T., de Lima E.S. Integrated measures for preservation, restoration and improvement of the environmental conditions of the lagoon olho d'agua basin // Environment International. 2001. V. 26. No. 7–8. P. 551–555.
7. Пункевич Б.С., Садовникова С.В., Землякова М.А., Лось К.С. Химико-аналитический контроль содержания отравляющих веществ в почвах. Методологический аспект // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 108–112.
8. Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г., Любинин И.А. Смазочные материалы в техносфере и биосфере: экологический аспект. Киев: Атика-Н, 2012. 292 с.
9. Васильев А.В., Хамидуллова Л.Р. Анализ негативного воздействия смазочно-охлаждающих жидкостей на человека и биосферу и методов его снижения // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. № 4. С. 45–49.
10. Almeda R., Wambaugh Z., Chai C., Liu Z., Buskey E.J. Effects of crude oil exposure on bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and survival of adult and larval stages of gelatinous zooplankton // Public Library of Science (PLoS One). 2013. V. 8. No. 10. P. e74476. doi: 10.1371/journal.pone.0074476.
11. Майборода С.Э. Обращение с отработанными маслами в России // Экология производства. 2015. № 4. С. 26–34.
12. Федосеева Е.Н., Зорин А.Д., Занозина В.Ф., Самсонова Л.Е. Миграция нефтепродуктов из загрязненной почвы в насыпной изолирующий слой чистого песка // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. № 22. С. 497–503.
13. Карика Н.А. Эколого-биохимическая оценка состояния загрязненных отработанными автомобильными моторными маслами почв // Экологические системы и приборы. 2015. № 3. С. 12–18.
14. Zhang Z., Brusseau M.L. Nonideal transport of reactive contaminants in heterogeneous porous media: 7. Distributed-domain model incorporating immiscible-liquid dissolution and rate-limited sorption/desorption // Journal of Contaminant Hydrology. 2004. No. 74 (1–4). P. 83–103. doi: 10.1016/j.jconhyd.2004.02.006.
15. Nichols E., Beadle S., Einarson M. Strategies for characterizing subsurface releases of gasoline containing MTBE, Regulatory and Scientific Affairs, API. 2000. No. 4699. P. 24–31.



16. Vošahlikova M., Pazlarova J., Demnerova K. Prehled remediacnich technologii methylterc buyletheru (MTBE), Chem. Listy 98. 2004. P. 903–907.

17. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем / Под ред. М.Ю. Доломатова, Э.Г. Теляшева. М.: Химия, 2002. 608 с.

18. Wiley Registry of Mass Spectral Data, 9th Edition, 8th Edition, and Other Specialty Wiley Mass Spectral Libraries [Электронный ресурс] <http://www.sisweb.com/software/ms/wiley.htm> (Дата обращения 10.11.2011.).

19. Best practices in mass spectral library usage for accurate structural identification and spectra interpretation of unknown compounds // ChemSW publication. 2011. 25 p. [Электронный ресурс] <http://www.ChemSW.com> (Дата обращения 08.11.2011)

20. NIST Standard reference Database 1A. NIST/EPA/NIH Mass Spectral database (NIST 11) and NIST Mass Spectral Search Program (Version 2.0g) [Электронный ресурс] <http://www.nist.gov/srdr/nistla.cfm> (Дата обращения 10.11.2011.).

21. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Госкомгидромет СССР, 1991. 693 с.

## References

1. Kashperuk A.A., Kashperuk P.I. Specificity of engineering-geological surveys in urban areas previously developed and reuse for construction // *Inzhenernye izyskaniya*. 2014. No. 3 (14). P. 53–57 (in Russian).

2. Galitskaya I.V., Pozdnyakova I.A. Contamination of groundwater and unsaturated zone deposits with oil products and PAN in urban areas // *Geoekologia. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya (environmental Geoscience)*. 2011. No. 4. P. 337–343 (in Russian).

3. Goncharenko U.N., Savostenko V.A. Modern trends in the renovation of industrial areas // *Arkhitektura i dizayn: istoriya, teoriya, innovatsii*. 2017. No. 2. P. 74–80. (in Russian).

4. Fomina E.Yu. Sanitization of industrial zones. Irkutsk: Irkutsk State Technical University. 2009. 118 p. (in Russian).

5. Huang W.H., Kao C.M. Bioremediation of petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater under sulfate-reducing conditions: effectiveness and mechanism study // *Journal of Environmental Engineering, ASCE*. 2016. V. 142. No. 3. P. 04015089.

6. Florencio L., Kato M.T., de Lima E.S. Integrated measures for preservation, restoration and improvement of the environmental conditions of the lagoon olho d'agua basin // *Environment International*. 2001. V. 26. No. 7–8. P. 551–555.

7. Punkevich B.S., Sadovnikova S.V., Zemlyakova M.A., Los' K.S. Chemical and analytical control of toxic substances in soils. Methodological aspect // *Theoretical*

and Applied Ecology. 2011. No. 4. P. 108–112. (in Russian).

8. Yevdokimov A.Yu., Fuks I.G., Lyubinin I.A. Lubricating material in the technosphere and biosphere: the ecological aspect. Kiev: Atika-N. 2012. 292 p. (in Russian).

9. Vasilyev A.V., Khamidulova L.R. Analysis of negative influence of lubricating-cooling liquids to the man and to biosphere and of methods of it reduction // *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 4. P. 45–49. (in Russian).

10. Almeda R., Wambaugh Z., Chai C., Liu Z., Buskey E.J. Effects of crude oil exposure on bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and survival of adult and larval stages of gelatinous zooplankton // *Public Library of Science (PLoS One)*. 2013. V. 8. No. 10. P. e74476. doi: 10.1371/journal.pone.0074476.

11. Mayboroda S.E. Treatment of waste oils in Russia // *Ekologiya i proizvodstva*. 2015. No. 4. P. 26–34 (in Russian).

12. Fedoseyeva Ye.N., Zorin A.D., Zanozina V.F., Samsonova L.Ye. Migration of oil products from contaminated soil to bulk insulating layer of pure sand // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2014. No. 22. P. 497–503 (in Russian).

13. Karika N. Ah. Ecological and biochemical assessment of soils contaminated with used motor oils // *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2015. No. 3. P. 12–18 (in Russian).

14. Zhang Z., Brusseau M.L. Nonideal transport of reactive contaminants in heterogeneous porous media: 7. Distributed-domain model incorporating immiscible-liquid dissolution and rate-limited sorption/desorption // *Journal of Contaminant Hydrology*. 2004. No. 74 (1-4). P. 83–103. doi: 10.1016/j.jconhyd.2004.02.006.

15. Nichols E., Beadle S., Einarson M. Strategies for characterizing subsurface releases of gasoline containing MTBE, Regulatory and Scientific Affairs, API. 2000. No. 4699. P. 24–31

16. Vošahlikova M., Pazlarova J., Demnerova K. Prehled remediacnich technologii methylterc buyletheru (MTBE), Chem. Listy 98. 2004. P. 903–907.

17. Abrosimov A. Ecology of hydrocarbon processing systems / Ed. M.Y. Dolmatov, E.G. Telesheva. Moskva: Chemistry. 2002. 608 p. (in Russian).

18. Wiley Registry of Mass Spectral Data, 9th Edition, 8th Edition, and Other Specialty Wiley Mass Spectral Libraries [Internet resource] <http://www.sisweb.com/software/ms/wiley.htm> (Accessed 10.11.2011.).

19. Best practices in mass spectral library usage for accurate structural identification and spectra interpretation of unknown compounds // ChemSW publication. 2011. 25 p. [Internet resource] <http://www.ChemSW.com> (Accessed: 08.11.2011)

20. NIST Standard reference Database 1A. NIST/EPA/NIH Mass Spectral database (NIST 11) and NIST Mass Spectral Search Program (Version 2.0g) [Internet resource] <http://www.nist.gov/srdr/nistla.cfm> (Accessed: 10.11.2011.).

21. Manual on the control of atmospheric pollution. Moskva: Goskomgidromet SSSR. 1991. 693 p. (in Russian).