

УДК 614.7

НЕФТЕПРОДУКТЫ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Некрасова Л.П., Каменецкая Д.Б.

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»

Федерального медико-биологического агентства, Москва, e-mail: info@cspfmba.ru

Объекты производства, хранения и использования нефти и нефтепродуктов оказывают комплексное воздействие на все геосферы Земли и, как следствие, здоровье населения. Цель исследования – анализ и обобщение литературных данных по источникам загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, оказываемого влияния на здоровье населения и методам их количественного определения. Проведен анализ более 80 научных публикаций, представленных в международных базах данных Scopus, РИНЦ, PubMed и электронной библиотеке eLIBRARY.RU за период с 1987 по 2023 г., отобрано 50 публикаций. Источники техногенного загрязнения нефтью и нефтепродуктами представляют реальную угрозу как окружающей среде, так и здоровью населения. Идентификация нефтепродуктов относится к сложным задачам, так как нефти имеют многокомпонентный изменяющийся состав в результате как формирования залежей, так и воздействия природных факторов. Принимая во внимание особенности химического состава нефти и процессов трансформации нефтепродуктов в природных объектах при выборе метода контроля содержания нефтепродуктов необходимо учитывать: концентрации, в которых они могут присутствовать в атмосферном воздухе, воде, почвах и грунтах, скорость их разложения, а также степень токсичности и влияние на здоровье населения. Проведенный анализ научных публикаций и методов, связанных с реализацией задач по контролю загрязнений нефтепродуктами, позволил сформировать перечень утвержденных и действующих на настоящий момент нормативно-методических документов, необходимых для его осуществления.

Ключевые слова: нефтепродукты, методы определения, загрязнители окружающей среды, влияние на здоровье населения, контроль качества

PETROLEUM PRODUCTS IN ENVIRONMENTAL OBJECTS AND METHODS FOR THEIR DETERMINATION

Nekrasova L.P., Kamenetskaya D.B.

Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, e-mail: info@cspfmba.ru

Facilities for the production, storage and use of oil and petroleum products have a complex impact on all geospheres of the Earth and, as a result, the health of the population. The purpose of the study is to analyze and summarize the literature data on the sources of environmental pollution by petroleum products, the impact on public health and methods of their quantitative determination. The analysis of more than 80 publications presented in the international databases Scopus, RSCI, PubMed and the electronic library was carried out eLIBRARY.RU, for the period from 1987 to 2023, 50 scientific publications were selected. Sources of man – made pollution by oil and petroleum products pose a real threat to both the environment and public health. Identification of petroleum products is a difficult task, since oils have a multicomponent changing composition, both as a result of the formation of deposits and the effects of natural factors. Taking into account the peculiarities of the chemical composition of oil and the processes of transformation of petroleum products in natural objects, when choosing a method for controlling the content of petroleum products, it is necessary to take into account: the concentrations in which they may be present in atmospheric air, water and soils, the rate of their decomposition, as well as the degree of toxicity and impact on public health. The analysis of scientific publications and methods related to the implementation of tasks for the control of pollution by petroleum products allowed us to form a list of approved and currently valid regulatory and methodological documents necessary for its implementation.

Keywords: petroleum products, determination methods, environmental pollutants, health effects, quality control

Введение

Нефть и продукты ее переработки – наиболее распространенные загрязнители окружающей среды. В санитарно-эпидемиологическом и природоохранном законодательстве при контроле качества природных вод, почв, воздуха их относят к обязательно нормируемым показателям.

Нефть и нефтепродукты (НП) представляют собой многокомпонентную смесь веществ переменного состава, которая включает порядка 2000 индивидуальных соединений, характеризующихся разным токсическим действием [1; 2]. Основными компонентами нефти, составляющими 90–95 %, являются углеводороды, представленные главным образом соединениями

трех классов: алканов (парафинов) $C_n H_{2n+2}$, нафтенов (циклопарафинов) $C_n H_{2n}$ и ароматических углеводородов $C_n H_n$ [3, с. 8]. Получаемые из нефти нефтепродукты также можно объединить в три основные группы (углеводородные фракции) [3, с. 11–14]:

– легкая фракция ($C < 11$, температура кипения менее $150^\circ C$), может присутствовать в воздухе, воде и почвах, токсична, может проникать в клетки организмов, дезорганизуя их цитоплазматические мембраны, быстро испаряется на поверхности, мигрирует по водоносному горизонту и почвенному профилю;

– средняя фракция ($C_{10} - C_{20}$, температура кипения от 150 до $400^\circ C$), практически нерастворима в воде, нетоксична для живых организмов, замедляет подвижность нефти при разливах на почвенной поверхности, испаряется более 10 суток;

– тяжелая фракция ($C > 20$, температура кипения более $400^\circ C$) практически не испаряется, осаждается в воде [4, с. 14–16] и накапливается в донных отложениях [5].

Следует отметить, что в техническом смысле «нефтепродукты» – это продукты переработки сырой нефти, включающие такие углеводородные фракции, как бензины ($C_4 - C_{12}$), керосины ($C_{12} - C_{16}$), дизельные топлива ($C_{16} - C_{25}$), отличающиеся температурными интервалами кипения [3, с. 13], а также котельные топлива, масла различного назначения – автомобильные, промышленные, трансформаторные, турбинные [6, с. 8]. Однако в гидрохимии в аналитическом понимании «нефтепродукты» – это углеводородные фракции, состоящие из неполярных и малополярных алифатических, ароматических, алициклических углеводородов, извлекаемые из воды неполярным органическим растворителем [6, с. 15]. В международной практике при определении содержания в воде нефтепродуктов используют термин «углеводородный нефтяной индекс» (hydrocarbon oil index) [7].

Цель научного обзора – анализ и обобщение литературных данных по источникам загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, влиянию на здоровье населения и методам их количественного определения.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ более 80 публикаций, представленных в международных базах данных Scopus, РИНЦ, PubMed и электронной библиотеке eLIBRARY.RU за период с 1987 по 2023 г. Отобрано 50 научных публикаций, освещающих как существующие формы соединений нефтяных углеводородов и влияние их на здоровье населения, так и методы их контроля в объектах окружающей среды.

Результаты исследования и их обсуждение

Присутствие в окружающей среде и влияние на здоровье населения. Объекты производства, хранения и использования нефти и нефтепродуктов оказывают комплексное воздействие на все геосферы Земли. Степень такого воздействия связана как с характеристиками самого источника загрязнения, так и с путем поступления загрязняющих веществ [8–10]. Определяющими параметрами, от которых зависит территория распространения и длительность воздействия загрязнения, являются нефтяными углеводородами, являются в первую очередь скорость рассеивания, растворения и трансформации этих веществ, обусловленная естественными процессами, происходящими в окружающей среде [11–13].

Преимущественно химический состав НП определяет их растворимость в воде: при уменьшении в составе нефтепродуктов ароматических углеводородов и увеличении содержания парафиновых она уменьшается [3, с. 14]. Для нефти растворимость в воде составляет $10-50$ мг/дм³, для дизельного топлива – $8-22$ мг/дм³, для керосинов – $2-5$ мг/дм³, для бензинов – до 5 мг/дм³ [3, с. 14]. Наиболее растворимы в воде легкие ароматические углеводороды и газообразные алканы $C_1 - C_4$ [4, с. 15]. Установлено, что при попадании нефти в воду происходит неравномерное распределение входящих в ее состав соединений в толще воды [14]. Поэтому при отборе проб воды для анализа на содержание НП необходимо учитывать это обстоятельство.

Предотвращение негативного влияния нефти и НП на объекты окружающей среды – это одна из задач экологического мониторинга, так как масштабы возможного загрязнения могут привести к непоправимым последствиям. Например, в работе [15] проведена оценка загрязнения НП заливов Белого моря, по результатам которой выявлено превышение содержания нефтепродуктов в воде и накопление их в донных отложениях в районах интенсивной хозяйственной деятельности. Такие же тенденции отмечены при исследовании северного региона Каспийского моря [16], где регистрировались загрязнения вод и донных отложений нефтепродуктами в местах нефтяных месторождений, которые оказывают токсическое действие на живые организмы, обитающие в водной среде. В работе [17] отмечается, что в зависимости от близости к источнику загрязнения нефтепродуктами увеличивается токсичность вод бассейна р.

Енисей, а нефтедобывающие предприятия, по материалам [18], служат источником интенсивного загрязнения водных объектов бассейна р. Белой в Республике Башкортостан. Наряду с другими соединениями именно нефтепродукты отнесены к числу приоритетных загрязнителей воды и донных отложений Азовско-Черноморского бассейна [19]. Степень воздействия нефти и ее производных на объекты окружающей среды зависит не только от концентрации и длительности воздействия, но и углеводородного состава [19].

Соотношение между отдельными углеводородами сильно варьирует не только в зависимости от вида нефти и продуктов ее переработки, но и в результате воздействия природных факторов, способствующих трансформации нефтепродуктов [3, с. 17]. Под действием солнечного света и кислорода атмосферного воздуха разрушение компонентов нефти может протекать в результате химического окисления, скорость которого отличается для углеводородов различных классов. [3, с. 23]. Наряду с процессами химического окисления нефтепродуктов [4, с. 28] большую роль играют процессы их биологического разрушения под действием углеводородных бактерий [14].

Источники техногенного загрязнения нефтью и нефтепродуктами представляют реальную угрозу как окружающей среде [9; 11; 20], так и здоровью населения [21–23], что подтверждают материалы многочисленных исследований.

Так, при изучении токсикологического воздействия НП на население при длительной экспозиции отмечалось снижение неспецифической иммунной защиты у наиболее уязвимых групп населения (дети и подростки) [24; 25], а при хроническом воздействии ароматических углеводородов были выявлены тяжелые поражения крови, кровеносных органов и сосудистой системы [25; 26]. Подобные же эффекты установлены при оценке риска здоровью населения на территориях и предприятиях нефтедобычи, где длительное загрязнение питьевых вод и атмосферного воздуха приводит к высоким хроническим рискам во всех жизненно важных системах организма (поражения органов дыхания, системы крови, печени, центральной нервной системы, почек, репродуктивной системы), формируя риски нарушения процессов развития организма [27; 28].

Особого внимания при оценке риска заслуживают объекты так называемого «накопленного вреда окружающей среде», к которым относятся территории производств (предприятий), связанные с послед-

ствиями добычи, хранения или переработки нефти. Длительное и бесконтрольное их существование является причиной загрязнения почв, подземных водоносных горизонтов и поверхностных вод, тем самым увеличивая риски для здоровья жителей близлежащих территорий [20]. Так, например, по результатам проведенной оценки канцерогенных и неканцерогенных рисков для населения территорий Самарской области, где располагаются предприятия нефтехимии и нефтепереработки, установлено, что максимальный суммарный коэффициент опасности неканцерогенных эффектов связан с длительным употреблением водопроводной воды, содержащей повышенные концентрации в том числе и нефтепродуктов [29].

Анализ методов определения нефтепродуктов. Для определения НП в объектах окружающей среды используют достаточно широкий спектр методов анализа [30]: гравиметрический, флуориметрический, спектрофотометрический в УФ- и ИК-области, газохроматографический. Нормативная база определения нефтепродуктов в объектах окружающей среды включает: государственные стандарты, природоохранные нормативные документы (ПНД Ф) и руководящие документы (РД). В работе [31] проанализированы все имеющиеся методы определения нефтепродуктов и проведено их ранжирование по таким показателям, как чувствительность, количественное и качественное определение, расход реактивов и стоимость оборудования на тот момент времени. В результате проведенной оценки методам были присвоены ранги: газохроматографический (4), ИК-спектрометрия (3), флуориметрия (2), гравиметрия (1), однако автор [32] отдает первенство ИК-спектрометрии как наиболее информативному методу.

Гравиметрический метод [33; 34], несмотря на его явные недостатки, используется в качестве арбитражного, так как применяемые средства измерения не требуют градуировки и использования стандартных образцов (аттестованных смесей), близких по составу к исследуемым пробам. К недостаткам метода относятся потери легких компонентов при анализе проб, а также необходимость использовать большие объемы проб, от 3 до 5 дм³, при исследовании образцов с содержанием НП на уровне ПДК. Из-за низкой чувствительности метод используется только для анализа сильно загрязненных вод [33]. Диапазон определяемых концентраций в воде от 0,3 до 50 мг/дм³, в почве – 20–500000 мг/кг [35; 36].

Определение нефтепродуктов в объектах окружающей среды

Источник	Метод	Объект	Диапазон	Пробоподготовка
РД 52.18.647-2003. Методические указания. Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом [34]	Гравиметрия	Минеральные (в том числе пески, супеси, суглинки, глины), органические (торф, лесная подстилка) и органико-минеральные почвы	20–500000 мг/кг	Извлечение НП из проб почвы путем их экстракции хлороформом; очистка экстракта колонной хроматографией на оксиде алюминия после замены растворителя на гексан, определение массовой доли НП в пробе почвы взвешиванием после упаривания растворителя
ПНД Ф 14.1.2.116-97 (2004). Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колонной хроматографии с гравиметрическим окончанием [35]	Гравиметрия	Природные и сточные воды	0,3–50,0 мг/дм ³	Извлечение нефтепродуктов из анализируемых вод (объем пробы до 3,5 дм ³) хлороформом или четыреххлористым углеродом, очистка на колонке с оксидом алюминия и количественное определение гравиметрическим методом
ПНД Ф 16.1.41-04. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом [36]	Гравиметрия	Почвы, грунты	от 20,0 до 50000 мг/кг	Экстракция хлороформом, очистка методом колонной хроматографии после замены растворителя на гексан
ПНД Ф 16.1.2.21-98 (издание 2012 г.). Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02» [38]	Флуориметрия	Почвы и грунты (песок)	0,005–20 мг/г	Экстракция нефтепродуктов из образца хлороформом или хлористым метиленом; концентрирование экстракта и очистка его методом колоночной хроматографии
ПНД Ф 14.1.2.4.128-98 (издание 2012 г.) Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (ФР.1.31.2012.13169) [37]	Флуориметрия	Природные (включая морские), питьевые, сточные воды	0,005–50 мг/дм ³	Экстракция гексаном однократная
ГОСТ Р 54039 -2010. Качество почв. Экспресс-метод ИК-спектроскопии для определения количества и идентификации загрязнения почв нефтепродуктами [44]	ИК-спектроскопия	Почва	0,1–10%	Измерение интенсивности оптического излучения высушенной и измельченной пробы, отраженного от исследуемого образца в ближней ИК-области спектра (800–2400 нм)

Окончание табл.

Источник	Метод	Объект	Диапазон	Пробоподготовка
ПНД Ф 16.1.2.22-98 (2005). Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органомных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии [45]	ИК-спектроскопия	Минеральные (пески, су- песи, суглинки, глины), су- органические (торф, лес- ная подстилка), органо- минеральные почвы и донные отложения	От 50 до 100000 мг/кг	Трехкратная экстракция нефтепродуктов из почв и донных отложений четыреххлористым углеродом, хроматографическое отделение нефтепродуктов от сопутствующих органиче- ских соединений других классов
РД 52.24.476-2022 Массовая концен- трация нефтепродуктов в водах. Метод измерений ИК-фотометрическим методом [42]	ИК-фотометрия	Природные и сточные воды	От 0,025 до 5 мг/дм ³	Экстракция четыреххлористым углеродом
РД 52.18.575-2023 Массовая доля не- фтепродуктов в пробах почв и грун- тов. Методика измерений методом инфракрасной спектроскопии [50]	ИК-спектроскопия	Почвы, грунты	От 25 до 50000 млн ⁻¹	Экстракция четыреххлористым углеродом
ПНД Ф 14.1.2.62-96 (2004). Методи- ка выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и очищенных сточных водах методом колонночной хромато- графии со спектрофотометрическим окончанием [47]	УФ-спектроскопия	Природные и очищенные сточные воды	0,02–2,0 мг/дм ³	Извлечение нефтепродуктов из анализируе- мых вод хлороформом или СС ₄ , отделение от полярных соединений других классов коло- ночной хроматографией и количественное определение по интенсивности светопогло- щения в ультрафиолетовой области спектра при $\lambda = 270$ нм
ПНД Ф 14.1.2.4.168-2000 (издание 2023 г.). Методика (метод) измерений массовой концентрации нефтепро- дуктов в пробах питьевых, природ- ных и очищенных сточных водах ме- тодом ИК-спектроскопии с при- менением концентратометров КН [41]	ИК-спектроскопия	Питьевые, природные и очищенные сточные воды	0,02 до 2 мг/дм ³	Извлечение нефтепродуктов из воды экстрак- цией СС ₄ , хроматографическое отделение не- фтепродуктов от сопутствующих органиче- ских соединений других классов на колонке, заполненной оксидом алюминия
ПНД Ф 13.1.2.3.59-07. Методика вы- полнения измерений массовых концен- траций суммарных углеводоро- дов С12-С19 в атмосферном воздухе санитарно-защитной зоны, воздухе ра- бочей зоны и промышленных выбросах газохроматографическим методом [49]	Газовая хроматография. Пламенно-ионизацион- ный детектор	Атмосферный воздух са- нитарно-защитной зоны, воздух рабочей зоны и промышленные выбросы производств, связанных с получением, хранением и транспортировкой нефте- продуктов	От 0,80 до 10,0 · 10 ³ мг/м ³	Пробы отбирают в пробоборник однократ- ного использования с волокнистым углероди- стым сорбентом типа «Карбон». Для экстрак- ции углеводородов используют хлороформ
ГОСТ 31953-2012. Вода. Определе- ние нефтепродуктов методом газовой хроматографии [7]	Газовая хроматография.	Питьевая вода, в том чис- ле расфасованная в емко- сти, природная вода, сточ- ная вода	Не менее 0,02 мг/дм ³	Экстракция, очистка экстракта сорбентом

Флуориметрическим методом (ФМ) определяются только ароматические углеводороды. Значимым недостатком метода является применение во время градуировки стандартных образцов, содержащих те же соединения и в тех же относительных количествах, что и анализируемая проба [33]. Достоинства флуориметрического метода – низкий предел обнаружения НП ($0,005 \text{ мкг/дм}^3$), малый объем пробы [37; 38] и отсутствие влияния на анализ липидов. Однако следует отметить, что в видимой области спектра и в ближнем ультрафиолетовом диапазоне флуоресцируют не все углеводороды, а только полиядерные, доля которых невелика и зависит от природы нефтепродуктов [30]. Поэтому метод ФМ не может применяться для массового анализа НП.

При мониторинге объектов окружающей среды широко используются такие методы, как ИК-спектрометрия и ИК-фотометрия [39; 40]. В методе ИК-спектроскопии в диапазоне $2700\text{--}3200 \text{ см}^{-1}$ регистрируются валентные колебания С-Н в CH_3 - и CH_2 -группах алифатических и ациклических соединений, боковых цепей и связей С-Н ароматических соединений [33]. Для увеличения разрешающей способности помимо обычных дисперсионных спектрометров может применяться Фурье-спектрометр, регистрирующий сразу весь спектр исследуемого сигнала. Преимущество метода ИК-спектроскопии – исключение потерь легких фракций углеводородов и незначительная зависимость исследуемого сигнала от типа нефтепродукта, составляющего основу загрязнения пробы, может использоваться для исследования природных и загрязненных промышленных сточных вод [41; 42]. К основным недостаткам метода относится использование токсичного растворителя (четырёххлористого углерода) и мешающего влияния высокого содержания в исследуемой пробе липидов и других полярных соединений. Погрешности, возникающие при ИК-фотометрии и ИК-спектрометрии, свидетельствуют о том, что для природных слабозагрязненных вод работает более чувствительный метод ИК-спектроскопии. Также ИК-спектроскопический метод эффективен при анализе почв, грунтов [43–45] и атмосферного воздуха.

ИК-спектрофотометрический, гравиметрический и флуориметрический методы не позволяют провести идентификацию отдельных углеводородов (УВ) нефтяной природы, а определяют их суммарное содержание [46]. С этой задачей эффективно справляется метод газовой хроматографии.

Идентификация нефтепродуктов относится к сложным задачам, так как нефти

имеют многокомпонентный изменяющийся состав, в результате как формирования залежей, так и воздействия природных факторов.

Газовая хроматография (ГХ) принадлежит к самым эффективным методам обнаружения нефтепродуктов при мониторинге объектов окружающей среды [47; 6, с. 112]. С учетом способа детектирования (пламенно-ионизационный и масс-спектрометрический) методики ГХ позволяют определять и идентифицировать индивидуальные УВ нефтепродуктов [46, с. 651]. Подобный анализ дает возможность установить источник поступления загрязнения в окружающую среду. Идентификация углеводородов нефтепродуктов является сложной задачей из-за изменчивости состава нефти [48]. Несмотря на востребованность метода, на сегодняшний день существует по одной аттестованной методике измерения массовой концентрации углеводородов в атмосферном воздухе [49] и воде [7].

Анализ нормативных документов выявил существенные различия в пробоподготовке образцов. В то же время показано, что данная операция существенно влияет на конечные результаты определения массовой концентрации нефтепродуктов в образце [46].

Проанализированы способы пробоподготовки почв и донных отложений для количественного извлечения нефтяных углеводородов [43]. Установлено, что определение НП в соответствии с нормативными документами методами ИК-спектроскопии приводит к заниженным результатам вследствие потери легких соединений [43].

Проведенный анализ научных публикаций и методов, связанных с реализацией задач мониторинга объектов окружающей среды по контролю загрязнений нефтепродуктами, позволил сформировать перечень утвержденных и действующих на настоящий момент нормативно-методических документов, необходимых для его осуществления (таблица).

Заключение

Ввиду того, что НП – сложные смеси индивидуальных веществ переменного состава, использование разных методов контроля их содержания, основанных на разных принципах, приводит к расхождению значений концентраций, что следует учитывать при оценке загрязненности воды, почвы, воздуха.

Принимая во внимание особенности химического состава нефти и процессов трансформации нефтепродуктов в природных объектах при мониторинге загрязнений окружающей среды и выборе метода оцен-

ки и контроля содержания нефтепродуктов необходимо учитывать: концентрации, в которых они могут присутствовать в объектах окружающей среды, скорость их разложения, а также степень токсичности и влияние на здоровье населения.

Список литературы

1. Fingas M. Introduction to oil chemistry and properties. Oil spill science and technology: prevention, response and cleanup // Oxford: Elsevier, 2011. P. 51–59. DOI: 10.1016/b978-1-85617-943-0/10003-6.
2. Хаустов А.П., Редина М.М. Перспективы развития исследований процессов трансформации углеводородных загрязнений окружающей среды // Инноватика и экспертиза. 2015. Вып. 2 (15). С. 194–200.
3. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2004. 163 с.
4. Кочетова Ж.Ю. Экомониторинг нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. 204 с.
5. Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. Нефтяные углеводороды в донных отложениях: состав, идентификация, механизмы трансформации (обзор) // Российский экологический журнал. 2020. № 1 (21). С. 41–51.
6. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практическое руководство. М.: Лаборатория знаний, 2020. 273 с.
7. ГОСТ 31953-2012. Вода. Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии. М.: Стандартинформ, 2013. 23 с.
8. Акшенцев В.В., Манякова Г.М., Юсупов Т.Р., Елизарьев А.Н. Анализ негативного влияния объектов хранения нефтепродуктов на окружающую среду и жизнедеятельность человека // Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции (Казань, 25 марта 2016 г.). Казань: ИД «Мир без границ», 2016. С. 82–85.
9. Махотлова М.Ш., Темботов З.М. Влияние нефтяных загрязнений на окружающую среду // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3–2 (45). С. 105–107. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.085.
10. Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Коноплев А.В. Оценка многосредового риска для здоровья населения, проживающего на территориях интенсивной нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 1. С. 27–30.
11. Балак Г.М., Мишина О.А., Волгин С.Н. Оперативная идентификация источников загрязнения водных объектов окружающей среды углеводородными топливами // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 3, № 4 (136). С. 135–140. DOI: 10.36871/ek.ur.p.r.2023.04.03.017.
12. Темердашев З.А., Павленко Л.Ф., Корпакова И.Г., Ермакова Я.С., Экилик В.С. О некоторых методических аспектах оценки нефтяного загрязнения водных объектов с учетом деградации нефтепродуктов во времени // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20, № 3. С. 225–235. DOI: 10.15826/analitika.2016.20.3.006.
13. Иваненко И.И., Лапатина Е.Я., Красавина Т.А. Исследования удаления нефтесодержащих загрязнений микроорганизмами // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 4 (80). С. 30–36. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.30-36.
14. Лебедь-Шарлевич Я.И., Жолдакова З.И., Мамонов Р.А., Беляева Н.И. Опасность загрязнения водных объектов нефтью с учетом растворения и стратификации ее компонентов // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 3 (23). С. 46–52.
15. Климовский Н.В., Левицкий А.Л., Новоселов А.П. Пространственное распределение и многолетняя динамика содержания нефтяных углеводородов в водах и донных отложениях Белого моря // Вода: химия и экология. 2019. № 3–6. С. 21–29.
16. Колмыков Е.В., Татарников В.О., Студников С.Н. Динамика содержания нефтепродуктов в донных отложениях акватории месторождения им. Ю. Корчагина в Северном Каспии // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 5 (53). С. 22–27.
17. Сентюрова М.В., Вишняков А.Н. Определение содержания нефтепродуктов и токсичности воды в р. Енисей и его притоках в черте Красноярска в разные сезоны года // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 1 (29). С. 140–146. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-1-140-146.
18. Тельцова Л.З., Бикташева Г.Х., Габидуллина Г.Ф., Гуламанова Г.А. Оценка влияния деятельности химических и нефтехимических предприятий на экологическое состояние водных объектов (на примере р. Белая) // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2018. № 11. С. 24–28.
19. Барабашин Т.О., Кораблина И.В., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Короткова Л.И. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 3–4. С. 9–27. DOI: 10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_9.
20. Май И.В., Максимова Е.В., Термулаев Р.М., Хамидов Р.Х., Сардалова Л.Э., Ирипханов И.И. Нефтешламовые амбары как объекты накопленного вреда окружающей среде и источники риска для здоровья населения // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101, № 11. С. 1283–1289. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1283-1289.
21. Rakhmatullina L.R., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Baktybaeva Z.B., Rakhmatullin N.R. Assessing health risks associated with drinking water quality (on the example of regions in Bashkortostan where oil fields are located) // Health Risk Analysis. 2021. No. 2. P. 34–41. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.03.eng.
22. Чувычкин А.Л., Яблонских Л.А., Девятова Т.А. Качество поверхностных вод Воронежского водохранилища и его влияние на здоровье населения г. Воронежа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 2. С. 270–277.
23. Валеев Т.К., Рахманин Ю.А., Сулейманов Р.А., Мальшева А.Г., Гимранова Г.Г., Рахматуллина Л.Р., Бактыбаева З.Б. Характеристика риска для здоровья населения нефтедобывающего региона в связи с факторами среды обитания // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 11. С. 1310–1316. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316.
24. Оруджев Р.А., Джафарова Р.Э. Особенности токсического действия углеводородов нефти на организм человека // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2017. Т. 16, № 4. С. 8–15. DOI: 10.22263/2312-4156.2017.4.8.
25. Якуш А.А. Воздействие нефтепродуктов на здоровье работников нефтеперерабатывающих предприятий Республики Беларусь // Военная медицина. История и современность: материалы Республиканской научно-методической конференции (Витебск, 30 марта 2023 г.). Витебск: Витебский государственный медицинский университет, 2023. С. 38.
26. Бадамшина Г.Г., Валеева О.В., Даукаев Р.А., Каримов Д.О., Аслаев А.Н. Показатели периферической крови у работников нефтехимического производства // Анализ риска здоровью. 2015. № 2. С. 62–67.
27. Сулейманов Р.А., Бактыбаева З.Б., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р., Иванов Д.Е., Спиринов В.Ф. Эколого-гигиеническая характеристика окружающей среды и состояние здоровья населения на территориях добычи и транспорта нефти // Ульяновский медико-биологический журнал. 2018. № 4. С. 124–142. DOI: 10.23648/UMBJ.2018.32.22703.

28. Дианова Д.Г., Долгих О.В. Формирование гуморального звена иммунного ответа в условиях экспозиции ароматическими углеводородами // Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Пермь, 13–15 мая 2020 г.). Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. С. 631–635.
29. Сазонова О.В., Сергеев А.К., Чупахина Л.В., Рязанова Т.К., Судакова Т.В. Анализ риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды (опыт Самарской области) // Анализ риска здоровью. 2021. № 2. С. 41–51. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.04.
30. Чаплина Т.О., Пахненко В.П. Методы определения содержания нефтепродуктов в воде // Процессы в геосредах. 2023. № 1 (35). С. 1978–1987.
31. Уланова Т.С., Макарова Ю.М. Методы определения содержания нефтепродуктов в водной среде // Научные исследования и инновации. 2010. Т. 4, № 4. С. 120–127.
32. Юдович Е.Е. Инструментальные методы определения нефтепродуктов в водах и почвах // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2012. № 10 (58). С. 66–69.
33. Гладилович Д.Б. Флуориметрический метод контроля содержания нефтепродуктов в водах // Партнеры и конкуренты. 2001. № 12. С. 11–15.
34. РД 52.18.647-2003. Методические указания. Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом.
35. ПНД Ф 14.1:2.116-97 (2004). Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием. М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 2004. 13 с.
36. ПНД Ф 16.1.41-04. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом. М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2004. 13 с.
37. ПНД Ф 14.1:2.4.128-98 (издание 2012 г.). Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». М.: Роспотребнадзор, 2012. 34 с.
38. ПНД Ф 16.1:2.21-98 (издание 2012 г.). Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2012. 33 с.
39. Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Суханов П.Т. Спектрофотометрическое определение нефтепродуктов в воздухе // Западская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. Т. 84, № 7. С. 21–25. DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-7-21-25.
40. Антонова Т.В., Вершинин В.И., Власова И.В. УФ-спектрометрическое определение суммарного содержания аренов в сточных водах // Журнал аналитической химии. 2021. Т. 76, № 7. С. 603–611. DOI: 10.31857/S0044450221070045.
41. ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000 (издание 2023 г.). Методика (метод) измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и очищенных сточных вод методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратометров КН. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2023. 29 с.
42. РД 52.24.476-2022. Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика измерений ИК-фотометрическим методом. Ростов-на-Дону, 2022. 39 с.
43. Василенко П.А., Корниенко С.Г. Определение содержания нефтепродуктов в почве с естественной влажностью ИК-спектрометрическим методом // Журнал аналитической химии. 2022. Т. 77, № 5. С. 433–437. DOI: 10.31857/S0044450222030124.
44. ГОСТ Р 54039-2010. Качество почв. Экспресс-метод спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения содержания нефтепродуктов. М.: Росстандартинформ, 2019. 8 с.
45. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 (2005). Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2005. 26 с.
46. Друтов Ю.С., Родин А.А. Мониторинг органических загрязнителей природной среды. 500 методик. Практическое руководство. М.: Бинном. Лаборатория знаний. 2020. 896 с.
47. ПНД Ф 14.1:2.62-96 (2004). Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и очищенных сточных водах методом колоночной хроматографии со спектрофотометрическим окончанием. М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 2004. 13 с.
48. Минаков Д.А., Карцова Л.А., Захарова А.М., Гринштейн И.Л., Минакова О.В. Детальный углеводородный анализ нефтепродуктов методом хромато-масс-спектрометрии // Журнал аналитической химии. 2021. Т. 76, № 7. С. 623–633. DOI: 10.31857/S0044450221070112.
49. ПНД Ф 13.1:2.3.59-07. Методика выполнения измерений массовых концентраций суммы предельных углеводородов C₁₂-C₁₉ в атмосферном воздухе санитарно-защитной зоны, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах газохроматографическим методом. М.: «НИИ Атмосфера» ОАО, 2005. 21 с.
50. РД 52.18.575-2023. Массовая доля нефтепродуктов в пробах почв и грунтов. Методика измерений методом инфракрасной спектрометрии. М.: Обнинск, 2023. 33 с.