

Journal of Siberian Federal University. Chemistry 3 (2014 7) 361-370

~ ~ ~

УДК 504.064:543.062

Development of Universal Quantitative Definition Techniques of Oil Products in Water

Anna S. Zhuk^{a*} and Anatoliy I. Rubaylo^{a,b}*^aInstitute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS
50-24 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia**^bSiberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 04.06.2014, received in revised form 07.08.2014, accepted 05.09.2014

Nonvolatile, resistant to oxidation and biodegradation markers in the oil, containing in all fractions of oil and all types of oil products are chosen: naphthalene, phenanthrene, chrysene, and fluorene. Dependence between a ratio of aliphatic and aromatic UV and concentration of the chosen markers in oil is found. The set of analytical methods for determination of oil and oil products concentration in water is offered: IK-spectroscopy and highly effective liquid chromatography. Concentration of oil products in water samples by the chosen methods are experimentally defined.

Keywords: methods for the determination of petroleum products, petroleum hydrocarbons, PAHs, oil markers, anthropogenic pollution.

Разработка универсальных методик количественного определения нефтепродуктов в воде

А.С. Жук^{a*}, А.И. Рубайло^{a,b}*^aИнститут химии и химической технологии СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок 50, стр. 24**^bСибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

Выбраны нелетучие, стойкие к окислению и биоразложению маркеры в нефти, содержащиеся во всех фракциях нефти и всех видах НП: нафталин, фенантрен, хризен и флуорен. Найдена

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: agonyzh@gmail.com

зависимость между соотношением алифатических и ароматических УВ и концентрацией выбранных маркеров в нефти. Предложен набор аналитических методов для определения концентрации нефти и НП в воде: ИК-спектроскопия и высокоэффективная жидкостная хроматография. Экспериментально определены концентрации НП в пробах воды выбранными методами.

Ключевые слова: методы определения нефтепродуктов, углеводороды нефти, ПАУ, маркеры нефти, антропогенное загрязнение.

Введение

Актуальность количественного определения нефтяных загрязнений постоянно повышается, поскольку нефть и нефтепродукты (НП) являются наиболее распространенными загрязняющими веществами антропогенного происхождения. Масштабное загрязнение объектов окружающей среды происходит как сырой нефтью, так и продуктами ее переработки (растворителями, бензинами, смазочными маслами, битумом и т.п.) в процессе добычи, транспортировки и использования данных продуктов, со сточными водами предприятий и с хозяйственно-бытовыми стоками.

В Российской Федерации в нормативных документах [1-3] принят обобщенный показатель – суммарно нефтепродукты. ПДК для НП суммарно установлена для питьевой воды – 0,1 мг/дм³, а для воды рыбохозяйственного назначения – 0,05 мг/дм³. Стандарт ГОСТ 17.1.4.01-80 [4] устанавливает общие требования к методам определения растворенных, эмульгированных и пленочных НП в природных водах, включая воды суши, морские и подземные, и в сточных водах. НП по данному стандарту определяются как неполярные и малополярные углеводороды (УВ) (алифатические, ароматические, алициклические), составляющие главную и наиболее характерную часть нефти и продуктов ее переработки. В международной практике содержание в воде НП определяется термином «углеводородный нефтяной индекс» (hydrocarbon oil index).

В лабораториях РФ применяются методы определения содержания НП в воде, основанные на различных физико-химических свойствах НП: гравиметрический, ИК-спектрометрический, флуориметрический и хроматографический [5-14], которые при определении НП в одном и том же образце воды могут давать различие в разы в результатах измерений их концентрации, что показано в работах [15-17]. На наш взгляд, это обусловлено сложным составом нефти и НП [18, 19].

Цель исследования – поиск оптимального набора аналитических методов для определения концентрации нефти и НП в воде, результаты которых не должны зависеть от состава и свойств нефти и НП.

Задачи исследования состояли в выборе маркеров, установлении зависимости соотношения алифатических и ароматических УВ от концентрации маркеров, экспериментальное определение концентрации НП в пробах воды выбранными методами.

Экспериментальная часть

Объектами исследования были пробы воды с известными добавками НП. В качестве образцов использовались: образец № 1 – нефть Якутского месторождения, образец № 2 – нефть

Ванкорского месторождения, образец № 3 – тяжелое жидкое топливо («бункерное топливо», применяемое на судах), образец № 4 – дизельное топливо. Для приготовления проб брали воду для лабораторного анализа объемом 500 см³ (не содержащую НП и других органических примесей), в которую весовым методом делали добавку образца НП.

Пробоподготовка заключалась в извлечении НП из воды 30 см³ тетрахлорметана методом экстракции. Пробу воды полностью переносили в делительную воронку вместимостью 0,5 дм³, затем дважды экстрагировали по 15 см³ тетрахлорметана. Первую и вторую экстракции выполняли в течение 5 мин. После расслоения фаз органический слой сливали в цилиндр с притертой пробкой вместимостью 50 см³, объем экстракта доводили тетрахлорметаном до 30 см³. Полученный экстракт делили на две равные части.

В одной части экстракта определяли содержание алифатических УВ методом ИК-спектроскопии на приборе КН-2м (ООО «ПЭП СИБЭКОПРИБОР», Россия), предварительно отделив неполярные и малополярные УВ от полярных соединений методом колоночной хроматографии на оксиде алюминия в соответствии с [8].

Во второй части экстракта определяли содержание ПАУ методом ВЭЖХ на хроматографе ICS-3000 с флуориметрическим детектором («DIONEX», США), предварительно удалив растворитель методом упаривания в токе воздуха и растворив остаток в 1,0 см³ ацетонитрила. Определение содержания ПАУ проводили в соответствии с [20].

Результаты и их обсуждение

Выбор маркеров и установление зависимости соотношения алифатических и ароматических УВ от их концентрации

В исследованиях ряда ученых, среди которых можно выделить работы [21-26], изучается состав и свойства самой нефти, нефтяные биомаркеры, проводится анализ пролитой нефти по «отпечаткам пальцев». Однако в них не рассматривается вопрос определения точной концентрации нефти и НП в объектах окружающей среды, в частности воде.

Основные требования при выборе маркеров, предъявляемые к веществам: нелетучие, стойкие к окислению и биоразложению, содержатся во всех фракциях нефти и всех видах НП.

В состав нефти и НП входят углеводороды полициклического ароматического ряда (ПАУ), которые достаточно устойчивы к биоокислению, в большинстве протекающих химических реакциях система колец сохраняется, а сами вещества нелетучие [21-27].

Анализ базы данных по компонентному составу ПАУ в нефти и НП [21-26] показал, что наибольшее содержание имеют нафталин, фенантрен, флуорен и хризен. Средняя массовая доля их по двадцати образцам нефти и НП составляет $2,05 \times 10^{-4}$, $2,70 \times 10^{-4}$, $1,70 \times 10^{-4}$ и $1,50 \times 10^{-4}$ соответственно (табл. 1). Среднее содержание других ПАУ в два и более раз меньше.

Все ПАУ в зависимости от генезиса делятся на три группы: пирогенные (образующиеся в результате лесных пожаров, выбросов химической промышленности, теплоэнергетики и т.д.), нафтидогенные (поступают вместе с органическим веществом нефти) и биогенные (образуются на стадиях седиментации и раннего диагенеза при биохимической и бактериальной трансформации исходного органического вещества) [26]. Нафталин, фенантрен, хризен и флуорен относятся к нафтидогенному и биогенному типам ПАУ.

Таким образом, выбор данных веществ в качестве маркеров позволяет охватить весь спектр НП, а также снизить погрешность определения НП в районах с высокой антропогенной нагрузкой, которую могли бы вносить ПАУ пиролитического типа.

Маркеры хризен и флуорен использованы нами для введения параметров n и m , позволяющих распределить нефть и НП по трем типам (табл. 1), внутри которых выявлены линейные зависимости с высокими коэффициентами корреляции между переменными X и Y , где X – массовая доля ароматических УВ, а Y – отношение массовой доли алифатических УВ к сумме массовых долей нафталина и фенантрена (рис. 1).

Из данных табл. 1 (столбцы 10, 11) нетрудно видеть, что для типа I НП – $m \geq 0,8 \times 10^{-4}$ и $n \neq 0$, для типа II НП – $m < 0,8 \times 10^{-4}$ и $n \leq 0,165 \times 10^{-5}$ или $n = 0$, для типа III НП – $m < 0,8 \times 10^{-4}$ и $n > 0,165 \times 10^{-5}$.

К типу I, более многочисленному, относится большинство образцов нефти (свежей и со-старенной) и тяжелые НП. Зависимость между массовой долей ароматических УВ (X) и отношением массовой доли алифатических УВ к сумме массовых долей нафталина и фенантрена описывается уравнением (1) с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,944$:

$$y = -4940x + 3010. \quad (1)$$

К типу II НП относятся некоторые образцы нефти и топлива. Соответствующая зависимость описывается уравнением (2) с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,978$.

$$y = 12930x - 700. \quad (2)$$

К типу III НП, более редкому, относятся продукты переработки нефти и эмульсии. Эту зависимость можно описать уравнением (3). Наличие трех точек не позволяет провести статисти-

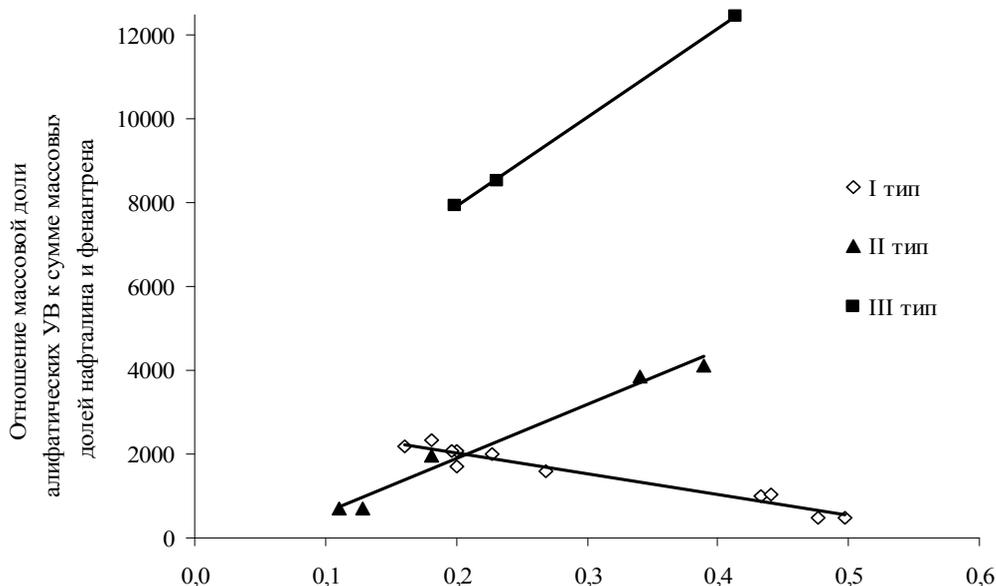


Рис. 1. Зависимость отношения массовой доли алифатических УВ к сумме массовых долей нафталина и фенантрена от массовой доли ароматических УВ

Таблица 1. Данные о составе образцов нефти и нефтепродуктов

№ п/п	Тип образца нефти или нефтепродукта	Свежий (0) или состаренный (1)	Массовая доля от общей массы УВ нефти						п* (x10 ⁻⁵)	m** (x10 ⁻⁴)	y***
			алифатических УВ	ароматических УВ	нафталина (x10 ⁻⁴)	фенантрена (x10 ⁻⁴)	флуорена (x10 ⁻⁴)	хризена (x10 ⁻⁴)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I тип											
1	Crude Oil	0	0,799	0,201	2,61	2,09	1,42	0,48	6,01	1,78	1700
2	Crude Oil	1	0,731	0,269	1,67	2,95	1,97	0,68	9,30	2,69	1580
3	Alberta Sweet Mixed Blend	0	0,800	0,200	2,45	1,41	0,81	0,19	2,38	1,01	2070
4	Alberta Sweet Mixed Blend	1	0,772	0,228	1,53	2,35	1,33	0,49	6,35	1,72	1990
5	West Texas Intermediate	1	0,804	0,196	2,13	1,77	0,63	0,193	2,40	0,784	2065
6	Heavy Fuel Oil 6303	0	0,567	0,433	1,40	4,22	2,24	3,76	66,3	3,95	1010
7	Heavy Fuel Oil 6303	1	0,559	0,441	0,89	4,58	2,33	4,15	74,2	4,17	1020
8	Fuel Oil No. 5	0	0,523	0,477	2,36	8,48	3,57	9,20	176	6,83	480
9	Fuel Oil No. 5	1	0,503	0,497	1,28	8,95	3,70	9,65	192	7,36	490
10	S. Louisiana	0	0,840	0,160	2,49	1,34	0,67	0,23	2,74	0,798	2190
11	S. Louisiana	1	0,819	0,181	1,64	1,88	0,95	0,30	3,66	1,16	2330
II тип											
1	Fuel Oil, No.2/ Diesel	0	0,889	0,111	8,20	4,37	5,67	0,0002	0,002	6,38	705
2	Fuel Oil, No.2/ Diesel	1	0,871	0,129	6,77	5,57	7,13	0,0003	0,003	8,19	705
3	California, Sockeye	0	0,660	0,340	1,11	0,60	0,13	0,05	0,758	0,197	3860
4	California, Sockeye	1	0,611	0,389	0,72	0,76	0,17	0,07	1,15	0,278	4130
5	West Texas Intermediate	0	0,819	0,181	2,93	1,25	0,49	0,135	1,65	0,598	1960
III тип											
1	Irving Oil Refinery	0	0,801	0,199	0,50	0,51	0,35	0,135	1,69	0,439	7930
2	Irving Oil Refinery	1	0,769	0,231	0,26	0,64	0,40	0,168	2,18	0,525	8540
3	Orimulsion-400	-	0,586	0,414	0,08	0,39	0,16	0,14	2,39	0,273	12470

* – отношение массовой доли хризена к массовой доле алифатических УВ;

** – отношение массовой доли флуорена к массовой доле алифатических УВ;

*** – отношение массовой доли алифатических УВ к сумме массовых долей нафталина и фенантрена.

ческую обработку. Дальнейшая задача состоит в увеличении количества различных образцов до 6-10.

$$y = 21200x + 3700. \quad (3)$$

*Определение концентрации НП
в пробах воды выбранными методами*

Результаты определения концентрации НП в воде с помощью выбранных методов приведены в табл. 2. Для расчета использовали найденные концентрации алифатических УВ, нафталина, фенантрена, флуорена и хризена, выраженные в мг/дм³.

Для установления типа НП рассчитывали параметры n и m (табл. 2, столбцы 8, 9). Оказалось, что образцы № 1–3 (сырая нефть и тяжелое топливо) относятся к наиболее распространенному типу I НП. Образец № 4 (дизельное топливо) относится к типу II НП.

Затем рассчитывали отношение массовой концентрации алифатических УВ к сумме массовых концентраций нафталина и фенантрена (y) (табл. 2, столбец 10). Массовая доля аренов от общей массы НП (X) рассчитывали из найденных зависимостей: для типа I НП по формуле (4); для типа II НП по формуле (5):

Таблица 2. Результаты определения НП в пробах воды с известными добавками образцов НП

№ п/п	Заданная концентрация НП, мг/дм ³	Алифатические УВ, мг/дм ³	Нафталин, мг/дм ³ (x10 ⁻³)	Фенантрен, мг/дм ³ (x10 ⁻³)	Флуорен, мг/дм ³ (x10 ⁻³)	Хризен, мг/дм ³ (x10 ⁻³)	n (x10 ⁻⁵)	m (x10 ⁻⁴)	y	Арены, массовая доля	Найденная концентрация НП, мг/дм ³	Отклонение от заданного значения, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Образец № 1 (сырая нефть) I тип												
1	0,99	0,74	0,17	0,32	0,20	0,068	9,2	2,7	1510	0,304	1,06	7,1
2	3,61	2,66	0,61	1,15	0,667	0,25	9,4	2,5	1511	0,304	3,82	5,8
3	8,48	6,45	1,45	2,63	1,72	0,61	9,5	2,7	1581	0,290	9,09	7,2
Образец № 2 (сырая нефть) I тип												
1	1,18	0,75	0,11	0,33	0,46	0,011	1,5	6,1	1705	0,265	1,02	13,6
2	2,72	1,74	0,30	0,81	1,03	0,022	1,3	5,9	1568	0,293	2,46	9,6
3	9,60	6,12	0,82	4,65	3,63	0,085	1,4	5,9	1119	0,384	9,93	3,4
Образец №3 (тяжелое топливо) I тип												
1	0,82	0,63	0,034	0,23	0,14	0,060	9,5	2,2	2386	0,127	0,72	12,2
2	3,10	2,39	0,14	0,95	0,50	0,22	9,2	2,1	2193	0,166	2,87	7,4
3	12,8	9,70	0,58	4,12	2,13	0,97	10	2,2	2064	0,192	12,0	6,2
Образец №4 (дизельное топливо) II тип												
1	0,65	0,57	0,75	0,42	0,46	<0,01	0	8,1	487	0,092	0,63	3,1
2	2,54	2,21	2,86	1,59	1,74	<0,01	0	7,9	497	0,093	2,44	3,9
3	10,8	9,33	11,8	6,47	7,01	<0,01	0	7,5	511	0,094	10,3	4,6

$$X = (y - 3000) / (-4950), \quad (4)$$

$$X = (y + 700) / 12900. \quad (5)$$

Концентрация НП (табл. 2, столбец 12) находилась с учетом найденной концентрации алифатических УВ (табл. 2, столбец 3) и рассчитанной массовой доли ароматических УВ (табл. 2, столбец 11).

Из приведенных в табл. 2 результатов видно, что отклонение полученных значений концентрации НП от заданных не превысило 13,6 %.

Выводы

В качестве маркеров, дающих информацию о компонентах ароматической составляющей нефти и нефтепродуктов, выбраны нафталин, фенантрен, хризен и флуорен, которые относятся к нафтидогенному и биогенному типам ПАУ, а также содержатся как в легкокипящей, так и в тяжелой фракции нефти.

Найдены зависимости между концентрацией ароматических УВ и соотношением алифатической части УВ нефти к сумме нафталина и фенантрена, которые зависят от типа НП и определяются содержанием хризена и флуорена в НП.

Выбраны методы для определения: концентраций нафталина, фенантрена, хризена и флуорена – высокоэффективная жидкостная хроматография; суммарного содержания алифатических УВ – ИК-спектроскопия.

Проведено определение концентрации НП в воде на модельных образцах с помощью выбранных методов. Результаты оказались положительными (табл. 2), которые не зависят от типа выбранных образцов нефти и НП, однако необходимы дальнейшие исследования на природных образцах воды.

Список литературы

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав РФ, 2002. 104 с. [Sanitary-epidemiological rules and norms SanRaN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. M.: Minzdrav RF, 2002. 104. (In Russ.)]
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Издание официальное, М.: Минздрав РФ, 2007. 223 с. [Hygienic standards HS 2.1.5.1315-03. Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in drinking water and cultural and community water. Official publication, M.: Minzdrav RF, 2007. 223. (In Russ.)]
3. Приказ федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010 г. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: ВНИРО, 2010. 153 с. [Order of the Federal Agency for Fisheries № 20 on 18.01.2010. Water quality standards fishery water bodies, including standards of maximum

- permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies. M.: VNIRO, 2010. 153. (In Russ.)]
4. Государственный стандарт ГОСТ 17.1.4.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах. Издание официальное, М.: Стандартиформ, 1992. 2 с. [State standard GOST 17.1.4.01-80. The Nature Conservancy. Hydrosphere. General requirements for methods for the determination of petroleum products in natural and waste waters. Official publication, M.: Standartinform, 1992. 2. (In Russ.)]
 5. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. СПб.: Анатолия, 2000. 250 с. [Drugov Y.S., Rodyn A.A. Environmental analyzes for oil spills and oil products. SPb.: Anatoliya, 2000. 250. (In Russ.)]
 6. Егазьянц С.В. Хроматографические методы анализа нефтепродуктов // Вестн. Московского университета. 2009. Химия. Т. 50. № 2. С. 75-99. [Egazariyanc S.V. Chromatographic methods of analysis of petroleum products // Bulletin of Moscow University. 2009. Chemistry. 50 (2). 75-99. (In Russ.)]
 7. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и сточных вод методом ИК-спектрофотометрии» 17.03.2000. [Methodology for determination ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 «Methodology for determination of oil mass concentration in the samples of drinking, natural and waste water by infrared spectrophotometry» 17.03.2000. (In Russ.)]
 8. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 «Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектрометрии» 15.03.2011. [Methodology for determination ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 «Methodology for determination of oil products mass concentration in drinking, surface and waste water by infrared spectrometry» 15.03.2011. (In Russ.)]
 9. Государственный стандарт ГОСТ 51797-2001. Вода питьевая. Метод определения содержания нефтепродуктов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 12 с. [State standard GOST 51797-2001. Drinking water. Method for determination of petroleum products. M.: IPK Publishing standards, 2001. 12. (In Russ.)]
 10. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» 21.08.2007. [Methodology for determination ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 «Methodology for determination of oil mass concentration in the samples of natural, drinking and waste water by fluorimetric method with fluid analyzer «Fluorat-02» 21.08.2007. (In Russ.)]
 11. Измерение массовой концентрации химических веществ люминесцентными методами в объектах окружающей среды: сборник методических указаний. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 272 с. [Measurement of mass concentration of chemicals fluorescent methods in the environment: Collection Activities. M.: Federal Centre for Sanitary Inspection Minzdrava of Russia, 2003. 272. (In Russ.)]
 12. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2:116-97 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колоночной хро-

- матографии с гравиметрическим окончанием» 02.02.2004. [Methodology for determination ПНД Ф 14.1:2.116-97 «Methodology for determination of oil mass concentration in the samples of natural and waste waters by column chromatography with gravimetric end» 02.02.2004. (In Russ.)]
13. Государственный стандарт ГОСТ Р 52406-2005. Вода. Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии. М.: Стандартиформ, 2006. 12 с. [State standard GOST R 52406-2005. Water. Determination of oil by gas chromatography. Official publication, M.: Standartinform, 2006. 12. (In Russ.)]
 14. Кузьмин А.Г., Кретинина А.В. Хромато-масс-спектрометрический анализ нефтепродуктов // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Тезисы VII конференции. 2004. С. 115-117. [Kuzmin A.G., Kretinina A.V. Chromatography-mass spectrometry analysis of petroleum products // Abstracts VII Conference «Analytics of Siberia and the Far East». 2004. 115-117. (In Russ.)]
 15. Кудрявцев А.А., Знаменщиков А.Н., Волкова С.С., Паничева Л.П. Моделирование спектров люминисценции растворов нефти // Вестн. Тюменского государственного университета. 2011. Вып. 5. С. 56-62. [Kudriyavcev A.A., Znamenshikov A.N., Volkova S.S., Panicheva L.P. Simulation of the fluorescence spectrum of oil solutions // Bulletin of the Tyumen State University. 2011. 5. 56-62. (In Russ.)]
 16. Жук А.С., Рубайло А.И. Сравнение ИК-спектроскопических и флуориметрических методов определения нефтепродуктов в воде // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Материалы IX научной конференции. 2012. С. 234. [Zhuk A.S., Rubaylo A.I. Comparison of IR spectroscopic and fluorimetric methods for the determination of oil in water // Proceedings of the IX Conference «Analytics of Siberia and the Far East». 2012. 234. (In Russ.)]
 17. Волкова С.С., Кудрявцев А.А., Емельянов Д.А., Меленюк Н.С., Нурмаганбетов Т.Ж., Постников А.О. Сравнение результатов ИК-спектрофотометрического и флуориметрического определения нефтепродуктов в системах «вода-нефть» и «вода-почва-нефть» // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Материалы IX научной конференции. 2012. С. 218. [Volkova S.S., Kudriyavcev A.A., Emelyanov D.A., Meleniuk N.S., Nurmaganbetov T.Zh., Postnikov A.O. Comparison of the results of IR spectrophotometric and fluorimetric determination of mineral oil in the system «water-oil» and «water-soil-oil» // Materials IX Scientific Conference «Analytics of Siberia and the Far East». 2012. 218. (In Russ.)]
 18. Петров А.А. Углеводороды нефти. М.: Химия, 1984. 238 с. [Petrov A.A. Petroleum hydrocarbons. M.: Chemistry, 1984. 238. (In Russ.)]
 19. Бойко Е.В. Химия нефти и топлив: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 60 с. [Boyko E.V. Chemistry of oil and fuels: a tutorial. Ulianovsk: UISTU, 2007. 60. (In Russ.)]
 20. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2.4.70-1999 «Методика измерений массовых концентраций полициклических ароматических углеводородов в питьевых, природных и сточных водах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии» 27.08.2012. [Methodology for determination ПНД Ф 14.1:2.4.70-1999 «Methodology for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons mass concentrations in drinking, natural and waste waters by high-performance liquid chromatography» 27.08.2012. (In Russ.)]
 21. Zhendi Wang, B.P. Hollebone, M. Fingas, B. Fieldhouse, L. Sigouin, M. Landriault, P. Smith, J. Noonan, and G. Thouin. Characteristics of Spilled Oils, Fuels, and Petroleum Products.

North Carolina: United States Environmental Protection Agency Research Triangle Park, 2003. 286 p.

22. Галинуров И.Р., Сафаров А.М., Островская Ю.В., Смирнов Т.П., Хатмуллина Р.М., Сафаров В.И. Оценка отдаленных последствий нефтяного загрязнения паводково-пойменных комплексов малых рек // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. С. 152-166. [Galimurov I.R., Safarov A.M., Ostrovckaya Y.V., Smirnov T.P., Hatmullina R.M., Safarov V.I. Evaluation of oil pollution long-term effects of flood-inundated complexes of small rivers // Oil and Gas Business 2011. 2. 152-166. (In Russ.)]
23. Wang Z.D., Fingas M., Sigouin L. Characterization and Source Identification of an Unknown Spilled Oil Using Fingerprinting Techniques by GC-MS and GC-FID // J. Chromatogr. 2000. Vol. 18, № 10. Pp. 1058-1067.
24. Wang Z.D., Fingas M., Landriault M., Sigouin L. Development in fingerprinting analysis of petroleum hydrocarbons // International Oil Spill Conference. 1999. Pp. 1211-1214.
25. Петров А.А. Биометки и геохимические условия образования нефтей России // Геология нефти и газа. 1994. № 6. С. 13-18. [Petrov A.A. Biomarkers and geochemical conditions of formation of Russian oils // Oil and Gas Geology. 1994. 6. 13-18. (In Russ.)]
26. Кузнецов А.Н. Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в водных экосистемах: автореф. дис. ... д-ра географ. наук. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2005. 175 с. [Kuznetsov A.N. Laws of the transformation of oil pollution in aquatic ecosystems. Abstract of the thesis for the degree of Doctor of Geographical Sciences. Rostov-na-Donu: GCI, 2005. 175. (In Russ.)]
27. Литвиненко И.В. Особенности распределения полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Арктических морей. автореф. дис. ... д-ра географ. наук. СПб.: СПбГУ, 2012. 145 с. [Litvinenko I.V. Features of the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Arctic seas. Abstract of the thesis for the degree of candidate of geographical sciences. SPb.: SPbSU, 2012. 145. (In Russ.)]