

НЕФТЯНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В ВОДЕ НИЖНЕГО ДОНА В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

*К.Ю. Дергачев^{1,2}, В.Е. Котова¹, Ю.А. Андреев¹,
И.А. Рязанцева¹, Ю.А. Федоров²*

¹ Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону

² Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

kdergachev@sfedu.ru, Valentina.E.Kotova@gmail.com, y.andreev@gidrohchim.mecom.ru,
ladamx@mail.ru, fedorov@sfedu.ru

Аннотация. Работа посвящена изучению нефтяного загрязнения р. Дон. Цель исследования – изучить пробы воды, отобранные в нижнем течении реки (на участке между городами Аксай и Азов) осенью 2023 г. ИК-фотометрическим и флуоресцентным методами были определены массовые концентрации нефтепродуктов, хроматографическими методами – алканы, полициклические ароматические углеводороды, и проведена идентификация возможных источников их поступления.

Ключевые слова: нефтепродукты, алканы, полициклические ароматические углеводороды, источники поступления, вода, Нижний Дон.

Введение. Нижний Дон – участок р. Дон от плотины Цимлянского водохранилища до устья [1]. Эта часть реки служит источником питьевого водоснабжения многих населенных пунктов, включая город-миллионер Ростов-на-Дону. Нижний Дон и водные объекты, относящиеся к его бассейну, являются благоприятным местом для аквакультуры и рыболовства. Нижнее течение р. Дон имеет существенное значение для юга европейской части России, однако усиленное использование водной артерии отрицательно влияет на ее экологическое состояние.

Одна из главных проблем Нижнего Дона – загрязнение нефтью, нефтепродуктами и соединениями, образующимися при сгорании различных видов топлива. Нефтедобыча на территории водосбора реки не ведется, однако нефтяные поллютанты могут попадать в водоток при транспортировке, перегрузке, переработке и хранении. Так, по итогам навигации 2023 г. в границах ответственности Азово-Донской бассейновой администрации объем грузооборота нефтепродуктов, в основном мазута и судового топлива, составил 2,2 млн т [2]. Загрязняющие вещества также могут поступать при сбросе льяльных вод, нефтешламов и сточных вод предприятий, авариях с участием судов, с выхлопными газами транспорта и ливневыми стоками.

Сырая нефть и продукты ее переработки состоят из углеводородных и смолистых компонентов, последние разделяются на смолы и асфальте-

ны. Углеводородная фракция обычно преобладает по массе, поэтому, как правило, под содержанием нефтепродуктов в природных водах понимается общее количество углеводородов, однако многие из этих соединений могут быть не нефтяного происхождения. Например, неразветвленные алканы могут синтезироваться живыми организмами, а полициклические ароматические углеводороды (далее – ПАУ) образуются в процессе сгорания каменного угля, древесины и травы. Следовательно, при изучении нефтяного загрязнения водных объектов необходимо идентифицировать источники поступления этих веществ [3].

Присутствие компонентов нефтяного ряда в водоемах и водотоках негативно воздействует на гидробионтов, поэтому концентрация этих загрязняющих веществ нормируется в водах различного типа. Предельно допустимая концентрация (далее – ПДК) для нефтепродуктов в растворенном и эмульгированном состоянии в воде водных объектов рыбохозяйственного значения составляет 0,05 мг/л, нафталина – 0,004 мг/л [4]. ПДК бензо[а]пирена в воде поверхностных водотоков и водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования равна 0,00001 мг/л, это соединение обладает канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами, относится к классу чрезвычайно опасных [5].

Особый интерес вызывает изучение содержания и состава нефтяных компонентов в акватории Нижнего Дона в осенний период, когда

изменяются гидрометеорологические условия, происходит смена фазы водного режима реки, возможны стогно-нагонные явления и паводки. С одной стороны, из-за интенсивных дождей водность реки повышается, с другой – растет смыв поллютантов с ливневыми стоками, поэтому экологический мониторинг в межсезонье очень важен. Кроме того, предыдущие исследования [6] нефтяного загрязнения этого региона проводились в том числе осенью, что позволяет сравнить новые результаты с предшествующими, выявить тенденции пространственно-временной изменчивости распределения нефтепродуктов в воде нижнего течения р. Дон.

Цели работы – изучить загрязненность воды Нижнего Дона нефтепродуктами и их отдельными компонентами в осенний период, идентифицировать вероятные источники поступления обнаруженных соединений, установить особенности пространственно-временной изменчивости распределения концентраций и состава этих веществ.

Материалы и методы исследования. Пробы воды отбирались на участке р. Дон, от г. Аксая до г. Азова, в сентябре – ноябре 2023 г. Точки отбора проб воды р. Дон (в скобках приведено расстояние до устья): 1 – выше впадения р. Аксай (62 км); 2 – на уровне водозабора г. Ростов-на-Дону (52 км); 3 – ниже впадения р. Темерник (43 км); 4 – ниже сброса сточных вод г. Ростов-на-Дону (34,5 км); 5 – ниже впадения р. Койсуг (32,5 км); 6 – рук. Старый Дон, у насосной станции водозабора г. Азова (18 км); 7 – рук. Старый Дон, ниже сброса сточных вод г. Азова (15 км). Отбор проб проводился непосредственно сотрудниками Гидрохимического института с научно-исследовательского судна «Росгидромет-10», принадлежащего ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС», посередине русла реки, из поверхностного горизонта глубиной 30 см, батометром Молчанова ГР-18.

Массовую концентрацию нефтепродуктов определяли методом ИК-фотометрии (далее – ИК) [7] и флуориметрии (далее – ФЛ) [8]. Для этого пробы воды подвергали экстракции соответствующим растворителем. Полученные экстракты пропускали через хроматографическую колонку, заполненную оксидом алюминия, анализировали элюаты с помощью концентратометра КН-2 и анализатора жидкости «Флюорат-02». Кроме того, определяли массовые концентрации

15 индивидуальных ПАУ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофлуориметрическим детектором [9] и сумму массовых концентраций алканов от ундекана (C_{11}) до тетраконтана (C_{40}) методом газожидкостной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором. Для этого пробы воды подвергали экстракции смесью растворителей, полученные экстракты концентрировали и разделяли их на фракции на хроматографической колонке, заполненной силикагелем. Фракцию ПАУ анализировали с помощью жидкостного хроматографа Agilent Technologies 1260 Infinity (Германия), снабженного колонкой ZORBAX Eclipse PAH (США), а фракцию алканов – с помощью газового хроматографа «Кристалл 5000.2» (Россия), с капиллярной колонкой J&W Scientific HP-5 (США).

Источники происхождения ПАУ устанавливали на основании расчета отношений маркерных веществ этой группы, например, $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ и $Flu/(Flu+Py)$ ($B[a]A$ – бензо[а]антрацен, $Chry$ – хризен, Flu – флуорантен, Py – пирен), и сравнении полученных значений с предельными [10].

Известно, что в сырой нефти и продуктах ее переработки преобладание четных или нечетных гомологов не наблюдается, а живыми организмами синтезируются алканы преимущественно с нечетным числом атомов углерода [3], причем низкомолекулярные (до C_{21}) продуцируются водорослями, а высокомолекулярные (от C_{22}) – наземными растениями. На хроматограмме под пиками алканов может фиксироваться так называемый «горб», наличие которого в низкомолекулярной области обусловлено продуктами жизнедеятельности бактерий, а в высокомолекулярной – соединениями, образовавшимися при разложении и выветривании нефтепродуктов, нефти [11]. На основании этих фактов проводили идентификацию источников поступления алканов и интерпретацию хроматограмм, полученных методом газожидкостной хроматографии.

Результаты исследования. Массовая концентрация нефтепродуктов, определенная ИК-фотометрически, в сентябре находилась в узком диапазоне от 0,03 до 0,10 мг/л, то есть была относительно постоянной на всем изучаемом участке Нижнего Дона, в следующие месяцы диапазон значений последовательно увеличивался, составляя в октябре 0,03–0,24 мг/л и ноябре 0,08–0,34 мг/л,

при этом в октябре (а еще отчетливее в ноябре) с течением реки наблюдался тренд на уменьшение содержания нефтепродуктов. Наибольшее значение в сентябре и октябре отмечено в месте сброса сточных вод г. Ростов-на-Дону (2,0 и 4,8 ПДК соответственно), а в ноябре – выше устья р. Аксай (6,8 ПДК). Наименьшее количество нефтепродуктов в сентябре и ноябре обнаружено у водозабора г. Азова, а в октябре – ниже впадения р. Койсуг и сброса сточных вод города. В сентябре в точках 2 и 6, а в октябре – в точках 5 и 7 массовые концентрации нефтепродуктов были ниже ПДК, в остальных точках отбора в эти два месяца концентрации превышали норматив. В ноябре превышение ПДК зафиксировано во всех местах отбора. Значения концентраций нефтепродуктов, усредненные для всего исследуемого участка р. Дон, возрастали от сентября к ноябрю и составляли в сентябре – уровень 1,0 ПДК, в октябре – 2,0 ПДК, в ноябре – 3,0 ПДК (рис. 1а).

Массовая концентрация нефтепродуктов, определенная флуориметрически, в сентябре изменялась в интервале от 0,02 до 0,13 мг/л, увеличиваясь по течению изучаемого участка водотока. В октябре содержание нефтяных поллютантов составляло 0,01–0,05 мг/л, а в ноябре – 0,02–0,06 мг/л, при этом в октябре не выявлено

явной зависимости в изменении концентраций по течению реки, а в ноябре имела некоторая тенденция к повышению количества нефтепродуктов в воде р. Дон от г. Аксай до г. Азова. Самая высокая массовая концентрация этих загрязняющих веществ в сентябре обнаружена у водозабора г. Азова (2,6 ПДК), в октябре – в районе сброса сточных вод г. Ростова-на-Дону (1,0 ПДК), в ноябре – ниже впадения р. Койсуг и сброса сточных вод г. Азова (в обеих точках по 1,1 ПДК). Наиболее низкое и одинаковое на всем участке количество нефтепродуктов в сентябре зафиксировано от начальной точки отбора вплоть до точки 3, в октябре минимальное значение концентрации найдено в районе сброса сточных вод г. Азова, в ноябре – выше устья р. Аксай.

В среднем на всём исследуемом участке Нижнего Дона массовые концентрации этих поллютантов в сентябре составляли 1,4 ПДК, а в октябре и ноябре находились на уровне 0,6 ПДК (рис. 1б). Повышенное содержание флуоресцирующих веществ в сентябре можно объяснить их интенсивным образованием в окружающей среде за счет окисления, фотолиза и биодеструкции органических соединений. В октябре и ноябре со снижением количества солнечного света и тепла эти процессы замедлились.

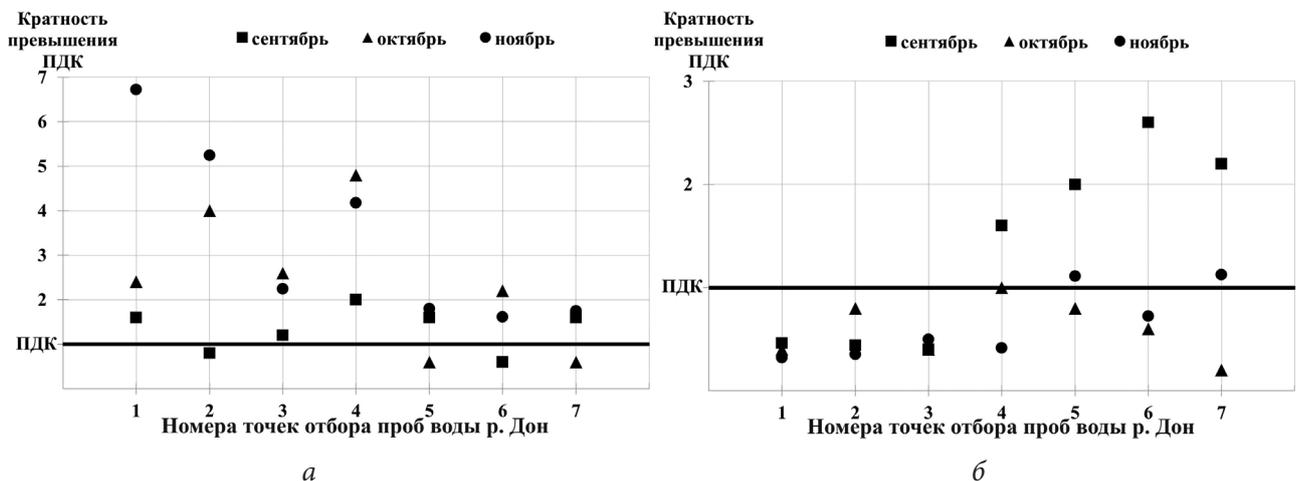


Рис. 1. Распределение кратностей превышения ПДК нефтепродуктов, определенных ИК-фотометрическим (а) и флуориметрическим (б) методами в пробах воды р. Дон

Количество нефтепродуктов, найденное ИК-методом, в 81 % проб превышало значение, полученное флуориметрически, причем расхождение доходило до 20 раз. В среднем разница между этими результатами возрастала от сентября

к ноябрю и убывала по течению водотока за всё время наблюдений. Несовпадение массовой концентрации нефтепродуктов в одной и той же пробе воды, определенной этими двумя методами, объясняется различием физических прин-

ципов, лежащих в их основе, и химической природы соединений, формирующих измеряемый приборами сигнал. Оптическое оборудование для определения содержания нефтепродуктов более доступно, его эксплуатация довольно проста. Однако невозможность нахождения концентраций индивидуальных веществ, ПДК которых значительно ниже норматива, установленного для нефтепродуктов, а также сложность в идентификации источников поступления этих загрязнителей приводит к необходимости дополнительного использования хроматографических методов.

Содержание и состав алканов в воде Нижнего Дона в сентябре заметно отличались от этих показателей в октябре и ноябре 2023 г. Массовая концентрация алканов в первый месяц исследования составляла от 5 (в районе устья р. Койсуг) до 22 мкг/л (в месте сброса сточных вод г. Азова), при усредненной по всему изученному участку водотока – 12 мкг/л, причем наблюдался тренд на увеличение количества этих соединений по течению реки. Отличительной особенностью состава алканов в сентябре является абсолютное доминирование C_{17} , доля которого была в среднем 67 %. Типичная для всех проб воды в этом месяце хроматограмма фракции алканов представлена на рисунке 2а. Гептадекан линейного строения образуется в процессе жизнедеятельности фитопланктона, что свидетельствует об интенсивном «цветении» воды в начале осени. Этот факт способствует лучшему пониманию результатов, полученных оптическими методами: в сентябре основной источник алканов был биогенный, а не нефтяной. Суммарные концентрации малополярных и неполярных углеводородов, найденные ИК-методом, на всем протяжении исследуемого участка практически не менялись, ведь «цветение воды» происходит син-

хронно на этом относительно небольшом участке р. Дон. Концентрации по этому методу в среднем равнялись 0,07 мг/л; вклад автохтонных алканов, преимущественно C_{17} , составлял около 30 %. Эти факты доказывают принципиальную важность учета естественного углеводородного фона при изучении нефтяного загрязнения водных объектов, особенно в период с высокой продуктивностью сообществ гидробионтов.

В октябре и ноябре сумма массовых концентраций алканов в среднем изменялась от 1 до 5 мкг/л, явных тенденций распределения этих соединений по течению реки не наблюдалось, то есть на всех участках в указанный период содержание алканов имело весьма близкие значения. Доля C_{17} в среднем была 12 %, что говорит о снижении интенсивности развития фитопланктона в связи с изменениями природных факторов, главным из которых является уменьшение солнечного излучения. В отличие от сентября в октябре и ноябре стали превалировать высокомолекулярные алканы, причем среди них наибольшими по содержанию оказались C_{27} , C_{29} , C_{31} , попавшие в р. Дон со склоновым стоком из-за дождей. На рисунке 2б показаны хроматограммы фракции алканов, характерные для всех проб воды в октябре и ноябре, на них под пиками терригенных алканов имеется нефтено-ароматический «горб», что свидетельствует о наличии нефтяного загрязнения, деградировавшего в окружающей среде. В ноябре высота горба относительно октября немного возросла, что согласуется с небольшим увеличением количества флуоресцирующих веществ, в частности аренов, к которым принадлежат и ПАУ. Сумма массовых концентраций последних, в среднем по всем точкам отбора, в ноябре также стала больше, чем в октябре, на 30 %.

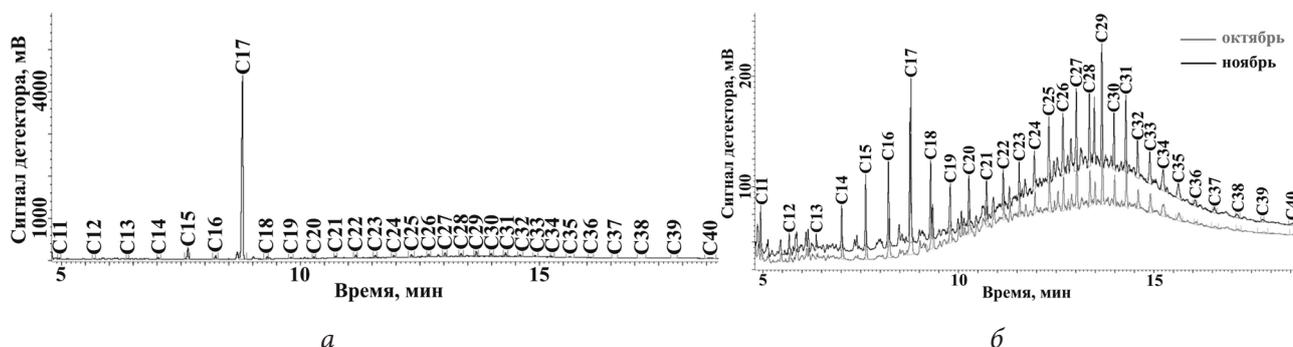


Рис. 2. Хроматограммы фракции алканов проб воды, отобранных в месте сброса сточных вод г. Азова в сентябре (а), октябре и ноябре (б)

Сумма массовых концентраций ПАУ изменялась следующим образом: в сентябре и ноябре наибольшее значение зафиксировано в районе сброса сточных вод г. Азова, составляя 21 и 33 нг/л соответственно, в октябре максимально обнаружено 18 нг/л выше устья р. Аксай. Минимальное количество составило в сентябре 10 нг/л и октябре 9 нг/л – найдено на уровне водозабора г. Ростова-на-Дону, а в ноябре – 9 нг/л выше места впадения р. Аксай. Характер распределения содержания ПАУ от сентября к ноябрю аналогичен таковому для количества флуоресцирующих углеводородов, кроме того, для каждого месяца сходны тенденции изменения этих показателей с течением реки. Эти факты свидетельствуют о том, что ПАУ вносят некоторый вклад в содержание всех флуоресцирующих соединений, массовая концентрация которых определяется ФЛ-методом, и имеют с ними подобные источники поступления. Превышения ПДК по нафталину и бензо[а]пирену не установлено ни в одной из проанализированных пробы воды.

Результаты идентификации источников поступления ПАУ представлены в виде графика взаимной зависимости (рис. 3). Видно, что вещества этой группы за весь период исследования имели преимущественно пирогенное происхождение, причем в основном от сгорания древесины, угля и травы, что можно объяснить возможным образованием этих соединений при степных пожарах во время засухи и в результате хозяйственной деятельности человека, их атмосферным переносом

и последующим в конце октября – ноябре смытым с дождевыми водами с территории водосбора Нижнего Дона.

Выводы. В ходе исследования выявлены некоторые закономерности пространственно-временной изменчивости концентраций нефтепродуктов, алканов и ПАУ в воде р. Дон на участке от г. Аксая до г. Азова осенью 2023 г. В частности, количества нефтепродуктов, определенные ИК-фотометрически и флуориметрически, имели в целом противоположные тенденции распределения от сентября к ноябрю по течению Нижнего Дона, а между содержанием ПАУ и суммой флуоресцирующих веществ прослеживается похожий характер изменчивости концентраций. Для алканов наблюдается четкая зависимость между их количеством, источниками поступления и условиями окружающей среды, что свидетельствует о преимущественно биогенном происхождении этих соединений за весь период наблюдений. Наиболее загрязненной нефтепродуктами и ПАУ частью водотока на протяжении исследования являлся район сброса сточных вод г. Ростова-на-Дону (2,0; 4,8; 4,2 ПДК по нефтепродуктам (ИК-метод) в сентябре, октябре, ноябре соответственно). Относительно чистым участком реки можно считать место водозабора Ростова-на-Дону. Показано, что для изучения нефтяного загрязнения водных объектов желательнее применение комплекса химико-аналитических методов, так как вещества, которые обычно относят к компонентам нефтепродуктов, могут иметь и другие источники поступления.

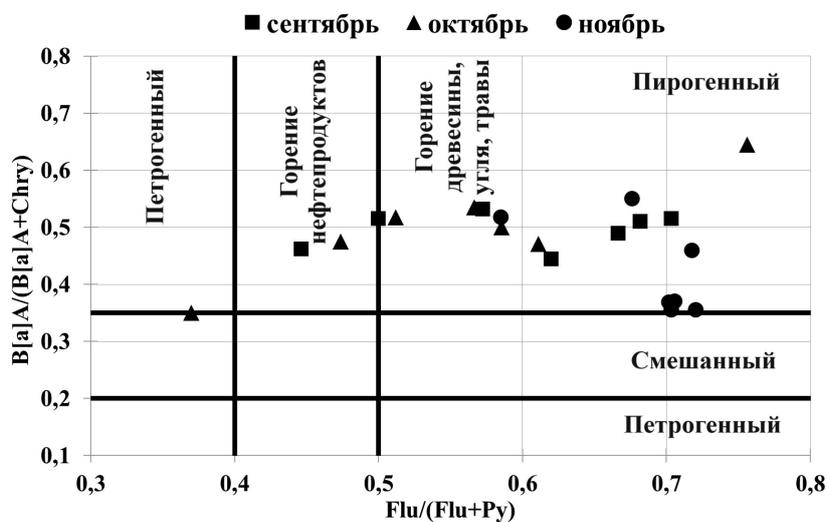


Рис. 3. Результаты идентификации источников поступления ПАУ

Список литературы

1. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон / под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб.: Свое издательство, 2020. 262 с.
2. Завершена навигация 2023 года в Азово-Донском бассейне внутренних водных путей // ФБУ «Администрация Азово-Донского бассейна внутренних водных путей»: [сайт]. 20.12.2023. URL: <http://www.adgbu.ru/novosti/news-archive/2023/zavershena-navigatsiya-2023-goda-v-azovo-donskom-basseine-vnutrennikh-vodnykh-putei/> (дата обращения: 14.07.2024).
3. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем: монография. Ростов н/Д.: НОК, 2008. 222 с.
4. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М.: ВНИРО, 2017. 214 с.
5. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Зарегистрировано в Минюсте РФ 29.01.2021 г. № 62296.
6. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А. Нефтяные компоненты в устьевой области р. Дон и в Азовском море (результаты многолетних исследований) // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 49–59.
7. РД 52.24.476-2022. Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом. Ростов н/Д., 2022. 38 с.
8. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02» (М 01-05-2012). М., 2012. 25 с.
9. РД 52.24.539-2022. Массовая концентрация полициклических ароматических углеводородов в воде. Методика измерений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофлуориметрическим детектированием. Ростов н/Д., 2022. 42 с.
10. Fengwen Wang, Tian Lin, Yuanyuan Li, Tianyi Ji, Chuanliang Ma, Zhigang Guo. Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM_{2.5} over the East China Sea, a downwind domain of East Asian continental outflow // Atmospheric Environment. 2014. Vol. 92. P. 489–492.
11. Yunlong Yu, Yuanyuan Li, Zhigang Guo, Hua Zou. Distribution and sources of n-alkanes in surface sediments of Taihu Lake, China // Archives of Environmental Protection. 2016. Vol. 42. № 1. P. 49–55.

PETROLEUM COMPONENTS IN THE WATER OF THE LOWER DON IN AUTUMN PERIOD

K.Yu. Dergachev^{1,2}, *V.E. Kotova*¹, *Yu.A. Andreev*¹, *I.A. Ryazantseva*¹,
*Yu.A. Fedorov*²

¹ Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don

² Southern Federal University, Rostov-on-Don

kdergachev@sfnu.ru, Valentina.E.Kotova@gmail.com,

y.andreev@gidrohim.com, ladamx@mail.ru, fedorov@sfnu.ru

Abstract. Here, we report the results of petroleum contamination assessment of the Don River. Our aim was to study the petroleum components and hydrocarbon group mass content of alkanes and priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the river water and to identify hydrocarbon sources. Therefore, we analyzed water samples collected in the Lower Don: from Aksay to Azov monthly in autumn in 2023. We determined petroleum components by IR-photometric and fluorescent methods; alkanes and PAH by chromatographic methods. The petroleum product concentrations, determined by IR photometric method, in September were in a narrow range from 0,03 to 0,10 mg/l, and increased in October to 0,24 mg/l and in November to 0,34 mg/l. In September, the petroleum product concentrations, determined by the fluorimetric method, were 0,02–0,13 mg/l, in October – to 0,05 mg/l, and in November – to 0,06 mg/l. We explain the discrepancy in the petroleum product concentration in the same water sample determined by these two methods by the difference in the physical principles underlying them and the chemical nature of the compounds that form the analytical signal. We determined the highest alkane concentrations in September, C₁₇ had a maximum content of up to 67 %, in October and November C₂₇, C₂₉ and C₃₁ were dominant. We associate this with the period of water bloom in September and its completion in October and the dominance of terrigenous hydrocarbons in October and November. Therefore, alkanes had mostly natural sources. PAH concentrations changed slightly over the entire observation period from 9 to 33 ng/l. PAH had dominant pyrogenic source.

Keywords: petroleum components, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), alkanes, sources, water, the Lower Don.

References

1. *Nauchno-prikladnoyspravochnik: Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki vodnykh ob'ektov basseyna reki Don*. [Scientific and applied reference book: Basic hydrological characteristics of water bodies of the Don River basin]; pod red. V.Yu. Georgievskogo. 2020. Saint-Petersburg, Svoe izdatel'stvo: 262 p. (In Russian).
2. *The 2023 navigation in the Azov-Don basin of inland waterways has been completed*. In: FBU "Administratsiya Azovo-Donskogo basseyna vnutrennikh vodnykh putey". 20.12.2023. URL: <http://www.adgbu.ru/novosti/news-archive/2023/zavershena-navigatsiya-2023-goda-v-azovo-donskom-basseine-vnutrennikh-vodnykh-putei/> (accessed: 14 July 2024). (In Russian).
3. Nikanorov A.M., Stradomskaya A.G. 2008. *Problemyneftyanogo zagryazneniya presnovodnykh ekosistem: monografiya*. [Problems of oil pollution of freshwater ecosystems: monograph]. Rostov-on-Don: "NOK": 222 p. (In Russian).
4. *Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13.12.2016 g. № 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya"* [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated 13.12.2016 No. 552 "On approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies"]. 2017. Moscow, VNIRO: 214 p. (In Russian).
5. SanPiN 1.2.3685–21. *Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov srede obitaniya*. Zaregistrovano v Minyuste RF 29.01.2021. No. 62296. [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness to humans of environmental factors. Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation].
6. Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A. 2014. [Petroleum components in the mouth area of the Don river and in the Sea of Azov (results of long-term research)]. *Vodnye resursy*. 41(1): 49–59. (In Russian).
7. RD 52.24.476–2022. *Massovaya kontsentratsiya nefteproduktov v vodakh. Metodika izmerenii IK-fotometricheskim metodom* [Mass concentration of petroleum components in waters. Measurement technique by infrared photometric method]. 2022. Rostov-on-Don: 38 p. (In Russian).
8. PND F 14.1:2:4.128–98. *Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v probakh prirodnykh, pit'evykh, stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti "FLYuORAT-02"* [Methodology for measuring the mass concentration of petroleum products in samples of natural, drinking, and waste waters using the fluorimetric method on a liquid analyzer "FLUORAT-02"] (M 01-05-2012). 2012. Moscow: 25 p. (In Russian).
9. RD 52.24.539–2022. *Massovaya kontsentratsiya polisiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v vode. Metodika izmereniy metodom vysokoeffektivnoy zhidkostnoy khroma-*

tografii so spektrofluorimetriceskim detektirovaniem. [Mass concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in water. Measurement technique using high-performance liquid chromatography with spectrofluorimetric detection]. 2022. Rostov-on-Don: 42 p. (In Russian).

10. Fengwen Wang, Tian Lin, Yuanyuan Li, Tianyi Ji, Chuanliang Ma, Zhigang Guo. 2014. Sources of polycyclic aromatic

hydrocarbons in PM_{2.5} over the East China Sea, a downwind domain of East Asian continental outflow. *Atmospheric Environment*. 92: 489–492. (In English).

11. Yunlong Yu, Yuanyuan Li, Zhigang Guo, Hua Zou. 2016. Distribution and sources of n-alkanes in surface sediments of Taihu Lake, China. *Archives of Environmental Protection*. 42(1): 49–55. (In English).