

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.18>

СОДЕРЖАНИЕ ПАУ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО УРОВНЯ В МАЛЫХ РЕКАХ С РАЗНЫМ ТИПОМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Научная статья

Новикова Л.В.^{1,*}, Степанова Н.², Окунев Р.В.³¹ ORCID : 0000-0002-8158-8525;² ORCID : 0000-0003-1733-9062;³ ORCID : 0000-0002-6927-6983;^{1,2,3} Казанский федеральный университет, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ludmila.novikova[at]kpfu.ru)

Аннотация

Определены уровни содержания 14 ПАУ в мышечной ткани леща (*Abramis brama*) и судака (*Sander lucioperca*) из малых рек Республики Татарстан, отличающихся типом антропогенной нагрузки на водосборе. Суммарное содержание ПАУ по медиане составило 44,63 и 40,93 нг/г сухого веса в мышцах леща и судака в реке Шешме (на водосборе преобладает нефтедобыча) и 41,09 и 59,25 нг/г сухого веса в мышцах леща и судака в реке Мёше (на водосборе преобладает сельскохозяйственная деятельность). Выявлено, что медианное содержание нафталина, флуорена, фенантрена, хризена, бенз(а)пирена и антрацена в мышцах леща и судака реки Шешмы статистически выше по сравнению с рыбой реки Мёши, что дает основание использования этих ПАУ в качестве маркеров нефтедобывающей деятельности в мониторинге поверхностных вод.

Ключевые слова: ПАУ, лещ *Abramis brama*, судак *Sander lucioperca*.

PAH CONTENT IN MUSCLE TISSUE OF FISH OF DIFFERENT TROPHIC LEVELS IN SMALL RIVERS WITH DIFFERENT TYPES OF ANTHROPOGENIC LOAD

Research article

Novikova L.V.^{1,*}, Stepanova N.², Okunev R.V.³¹ ORCID : 0000-0002-8158-8525;² ORCID : 0000-0003-1733-9062;³ ORCID : 0000-0002-6927-6983;^{1,2,3} Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (ludmila.novikova[at]kpfu.ru)

Abstract

The levels of 14 PAHs in the muscle tissue of bream (*Abramis brama*) and pikeperch (*Sander lucioperca*) from small rivers of the Republic of Tatarstan differing in the type of anthropogenic load at the catchment were determined. The median total PAH content was 44.63 and 40.93 ng/g dry weight in the muscles of bream and pikeperch in the Sheshme River (the catchment is dominated by oil production) and 41.09 and 59.25 ng/g dry weight in the muscles of bream and pikeperch in the Myosha River (the catchment is dominated by agricultural activity). It was found that the median content of naphthalene, fluorene, phenanthrene, chrysene, benz(a)pyrene and anthracene in the muscles of bream and pikeperch from the Sheshma River is statistically higher compared to fish from the Myosha River, which provides a basis for using these PAHs as markers of oil production activities in surface water monitoring.

Keywords: PAH, bream *Abramis brama*, pikeperch *Sander lucioperca*.**Введение**

Интенсивное экономическое развитие регионов невозможно без высокой антропогенной нагрузки на окружающую среду [1]. Значительную угрозу для гидробионтов представляют полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – стойкие органические токсиканты, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами, способные накапливаться и передаваться по пищевым цепям и аккумулироваться в тканях организмов [2], [3], [5], [6]. Несмотря на то, что в России в последние годы растет число исследований ПАУ в объектах окружающей среды, тем не менее основное внимание в мониторинговых наблюдениях уделяется содержанию бенз(а)пирена [7], [8], доля которого в спектре определяемых ПАУ обычно невелика.

Целью данной работы было определение содержания приоритетных ПАУ в мышечной ткани рыб разного трофического уровня в малых реках Республики Татарстан, отличающихся типом хозяйственной деятельности на водосборе.

Методы и принципы исследования

В качестве модельных рек были выбраны реки Шешма и Мёша – притоки первого порядка р. Кама (рис. 1). Водосборы рек схожи по классификации объектов наземного покрова (Land Cover). Площадь водосборного бассейна реки Мёша составляет 4180 км², средняя плотность речной сети – 0,35 км/км². По гидрохимическому режиму река относится к гидрокарбонатно-кальциевым рекам с низкой минерализацией в межень. Площадь водосборного бассейна

реки Шешма составляет 6200 км², средняя плотность речной сети – 0,34 км/км². Вода в реке относится к гидрокарбонатно-хлоридно-кальциевым водам средней минерализации. Питание у обеих рек смешанное [9].

Шешма характеризуется интенсивным развитием сельскохозяйственной и нефтедобывающей деятельностью на водосборной площади, водосбор р. Мёши испытывает только сельскохозяйственную нагрузку.

В период с 2020 по 2023 гг. для анализа были отобраны 67 особей леща (*Abramis brama*) и судака (*Sander lucioperca*), выловленных преимущественно в устьевой части рек Шешма и Мёша.

Отбор, подготовка образцов мышечной ткани рыб выполнен в соответствии с методическим руководством [10]. Содержания 14 ПАУ (антрацен, ацетонафтилен, аценафтен, бензо(а)пирен, бенз(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, бензо(г,и)перилен, дибенз(а,и)антрацен, пирен, флуорен, флуорантен, фенантрен, хризен, нафталин) проводили на хроматографе Flexar (Perkin Elmer, США) с обратно-фазной колонкой Brownle Analytical C18, где в качестве подвижной фазы используется смесь ацетонитрил-вода, обнаружение проводилось с помощью флуоресцентного и ультрафиолетового детекторов.

Для обработки результатов, ввиду отличия распределения от нормального, использовались непараметрические статистические тесты. В качестве меры центральной тенденции была выбрана медиана. Достоверность различий между выборками определяли по критерию Краскела-Уоллиса.

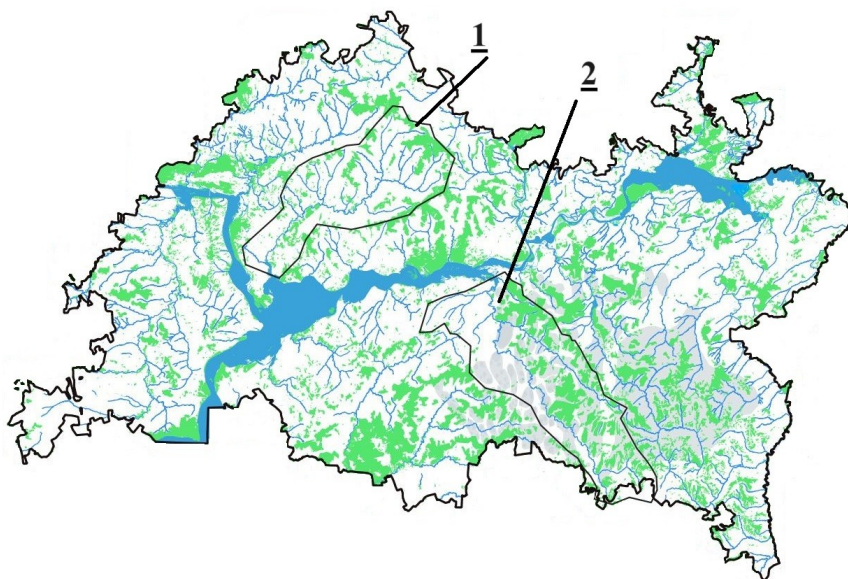


Рисунок 1 - Бассейны модельных рек:

1 – Мёша; 2 – Шешма

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.18.1>

Результаты и обсуждение

Оценка содержания 14 приоритетных ПАУ была проведена в 51 образце мышечной ткани леща (153 анализа) и 16 – судака (48 анализов). Возрастные и морфометрические характеристики леща и судака (таблица 1) обеих рек не имеют значимых различий, преобладающий возраст рыбы составил 5-7 лет, длина 29,5 см – лещ и 44,5-50,0 см – судак. Масса варьировала в более широких пределах: 415,0-562,5 г – лещ и 1260,0-1793,0г – судак.

Таблица 1 - Характеристики анализируемой рыбы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.18.2>

Вид	Река	Количество образцов	Возраст, лет	Длина, см	Вес, г
Лещ	Шешма	41	6 (4 – 15)	29,4 (20,0 – 41,5)	415,0 (113,0 – 2284,0)
	Мёша	10	7 (6 – 9)	29,5 (27,0 – 32,0)	562,5 (405,0 – 700,0)
Судак	Шешма	9	5 (4 – 6)	44,5 (39,0 – 49,5)	1260,0 (900,0 – 3064,0)
	Мёша	7	7	50,0	1793,0

			(6 – 8)	(45,0 – 55,0)	(1335,0 – 2229,0)
--	--	--	---------	---------------	-------------------

Примечание: медиана (min-max)

Суммарное содержание ПАУ в мышечной ткани рыб варьирует в широких пределах, что связано с особенностями типа питания [11]. В реке Шешма суммарное содержание ПАУ по медиане в мышцах леща составляет 44,63 нг/г, в мышцах судака – 40,93 нг/г. Межвидовое различие между медианным значением суммарного содержания ПАУ в рыбе реки Мёши более ярко выражено: в леще оно составляет 41,09 нг/г, в судаке 59,25 нг/г.

Все анализируемые ПАУ были разделены на группы по числу ароматических колец в молекуле: двух-, трех-, четырех- и пяти-шестикольцевые структуры. Для анализируемых образцов мышечной ткани была характерна высокая доля низкомолекулярных ПАУ (рис. 2) – 65-85% от суммарного содержания ПАУ.

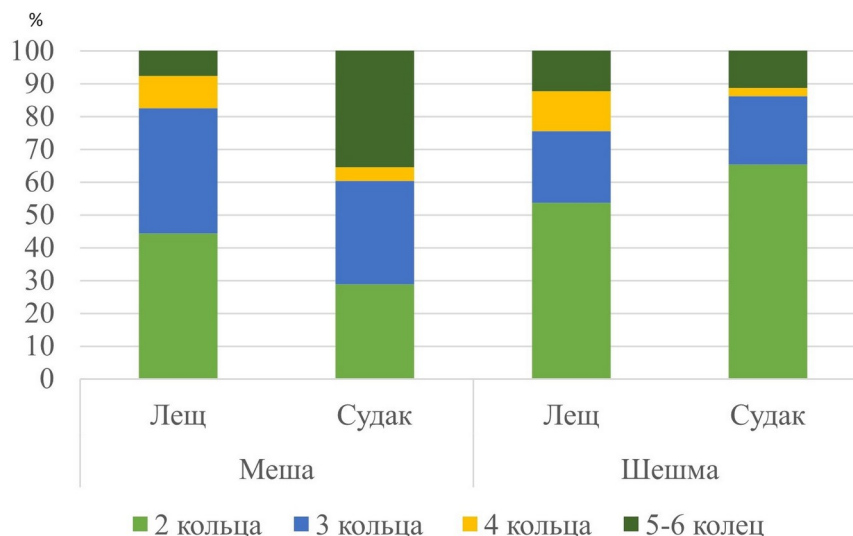


Рисунок 2 - Структура ПАУ в мышцах леща и судака рек Мёши и Шешмы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.18.3>

Нефтяное загрязнение характеризуется преобладанием низкомолекулярных аренов и одним из подходов для дифференциации источника поступления ПАУ, предлагаемых в литературе [8], [12], является отношения суммарного содержания низкомолекулярных (НМ) к суммарному содержанию высокомолекулярных (ВМ) ПАУ, в соответствии с которым преобладание вклада НМ компонентов свидетельствует о петрогенном, а ВМ – пиролитическом происхождении ПАУ. В большинстве проб содержание НМ ПАУ было выше содержания ВМ. Структура ПАУ в рыбе реки Шешмы (рис. 2) не меняется в зависимости от вида – преобладают ПАУ с небольшим количеством бензольных колец. Сходная структура наблюдается и в мышцах леща реки Мёши. В мышцах судака преобладали «тяжелые» ПАУ, примерно в равных пропорциях с ПАУ, содержащими 3 кольца. Доля соединений с 5-6 кольцами, проявляющих канцерогенную активность, в среднем не превышает 7,6% и 35,5% для леща и судака из реки Мёши и 12,6 и 11,3% из реки Шешмы соответственно. Подходы по расчету соотношений НМ к ВМ ПАУ, а также различных индикаторных конгенов, указывающих на генезис ПАУ (петрогенное или пирогенное происхождение) [8], используемые в исследованиях абиотических составляющих водных объектов, по-видимому, нельзя переносить на биологические объекты, в нашем случае на мышцы рыб, из-за сложных механизмов поведения и трансформации ароматических углеводородов в окружающей среде и организме животных.

В этой связи рассмотрим поингредиентное содержание ПАУ в мышцах рыбы исследованных рек. В мышцах леща реки Мёши в 90% проб были обнаружены аценафтен и антрацен, в 83% – флуорантен, пирен, бенз(а)пирен, бенз(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, в 75% – нафталин. В мышечной ткани судака в 70% проб идентифицированы аценафтен, ацетонафтилен, антрацен и флуорантен. В мышцах судака реки Шешмы в 90% образцов выявлены антрацен и хризен, в 77% нафталин. Содержание ПАУ в мышцах леща разнообразнее: в 90% проб идентифицирован антрацен, в 85% – хризен, в 80% – аценафтен и флуорантен, в 75% – нафталин, бенз(а)пирен, бензо(к)флуорантен.

Углеводороды, содержащиеся в наибольшем количестве в нефти (нафталин, флуорен, фенантрен и хризен) [13], в сумме ПАУ составляют в среднем 59,3 и 66,3% для леща и судака реки Шешмы и 58,6 и 33,0% для леща и судака реки Мёши.

Содержание нафталина в мышцах леща/судака в реке Шешме было 1,3-2,6 раза выше по сравнению с рыбой реки Мёши и составило 33,48/51,82 нг/г против 26,33 /19,6 нг/г соответственно (таблица 2).

Таблица 2 - Содержание ПАУ по медиане с указанием доверительного интервала в мышцах леща и судака в реках Шешма и Мёша

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.18.4>

	Вещество, нг/ г сухого веса	Лещ				Судак			
		N ¹	Медиана	Доверительный интервал		N	Медиана	Доверительный интервал	
Шешма	Нафталин	35	33,48	14,55	49,34	7	51,82	10,1	87,79
	Ацетонафтил ен	29	1,97	1,09	4,65	3	3,51	0	21,93
	Аценафтен	37	2,45	1,42	4,07	4	10,95	0	24,17
	Флуорен	7	1,67	0	4,16	0	н/о ³	-	-
	Фенантрен	9	2,3	0	4,12	0	н/о	-	-
	Антрацен	42	0,18	0,13	0,19	8	0,12	0,09	0,15
	Флуорантен	37	0,88	0,78	1,25	2	1,72	0	3,44
	Пирен	32	0,57	0,39	0,65	6	0,37	0	1,5
	Хризен	39	0,52	0,39	0,64	8	0,35	0	0,42
	Бенз(b)флуор антен	32	0,11	0,09	0,13	3	0,17	0	0,3
	Бенз(a)пирен	35	0,04	0	0,06	3	0,05	0	0,11
	Бензо(k)флуо рантен	36	0,06	0,05	0,09	2	0,05	0	0,10
	Дибенз(a,h)ан трацен	25	0	0	1,27	3	0	-	0
Бенз(g,h,i)пер илен	15	0	-	-	3	0	-	-	
Мёша	Нафталин	9	26,33	6,45	45,77	3	19,6	6,86	38,97
	Ацетонафтил ен	8	13,05	0	35,67	5	4,41	0	284,28
	Аценафтен	11	2,69	0	9,06	5	15,87	4,92	90,54
	Флуорен	7	0	-	-	1	0	-	-
	Фенантрен	7	2,13	1,92	6,15	3	2,83	2,66	5,14
	Антрацен	11	0,13	0,1	0,23	5	0,05	0	0,11
	Флуорантен	10	0,68	0	1,3	5	11,32	0	56,04
	Пирен	10	0,59	0,33	1,09	3	1,46	0	3,17
	Хризен	8	0,41	0,26	1,45	4	0,31	0	3,01
	Бенз(b)флуор	10	0	0	0,15	1	0	-	-

	антен								
	Бенз(а)пирен	10	0,02	0,037	0,05	1	0	-	-
	Бензо(к)флуорантен	10	0	0	0.61	4	0,24	0	0.49
	Дибенз(а,һ)антрацен	4	0,76	0	238,4	4	104,25	4,76	333,3
	Бенз(ɡ,һ,і)перилен	2	0	-	-	0	н/о	-	-

Примечание: 95% вероятность; ¹ N – число образцов; ² 0 – ниже порога обнаружения; ³ н/о – не обнаружено

Флуорен не был обнаружен в мышечной ткани рыбы реки Мёши, в то время как в мышцах леща реки Шешмы он выявлен в 15,2% исследованных проб и составил 1,67 нг/г. Фенантрен выявлен в мышцах леща реки Шешмы на уровне 2,30 нг/г против 2,13 нг/г реки Мёши. Содержание хризена, обладающего канцерогенными свойствами, составило 0,52 и 0,36 нг/г в мышцах леща и судака Шешмы, в мышцах рыбы реки Мёши его содержание отмечено на уровне 0,41 и 0,31 нг/г для леща и судака соответственно.

Антрацен является одним из компонентов сырой нефти и продуктом неполного сгорания ископаемого топлива. Медианное значение содержания антрацена в мышцах леща и судака реки Шешмы составило 0,18 и 0,12 нг/г, реки Мёши 0,13 и 0,05 нг/г соответственно (таблица 2).

Содержание бенз(б)флуорантена составило 0,11/0,17 нг/г в мышцах леща/судака только в реке Шешме, в рыбе реки Мёши он был идентифицирован на уровне ниже чувствительности метода.

На законодательном уровне в РФ из всех ПАУ предусмотрен контроль содержания только бенз(а)пирена [8], [12]. В большинстве проб его доля не превышает нескольких процентов от суммы ПАУ. В мышцах леща отмечено медианное содержание бенз(а)пирена на уровне 0,02 и 0,04 нг/г для рек Меша и Шешма соответственно, для мышц судака это соотношение составило 0,05 нг/г (Шешма) и меньше чувствительности метода (Мёша).

Заключение

В данной работе было проведено сравнение суммарного и поингредиентного содержания ПАУ в мышцах бентосоядных (лещ) и хищных (судак) рыб, обитающих в реках, отличающихся антропогенной нагрузкой на водосборе. Было выявлено, что сумма ПАУ в мышцах леща реки Шешмы, на водосборе которой ведется нефтедобыча, выше по сравнению с лещом реки Мёши с преобладанием сельскохозяйственной деятельностью на водосборе.

Показано, что содержание ПАУ – индикаторов нефтяного загрязнения (нафталина, флуорена, фенантрена и хризена) – выше в мышцах, как леща, так и судака реки Шешмы с преобладанием нефтедобычи на водосборе.

Повышенное содержание в мышцах рыбы реки Шешмы по сравнению с Мёшей отмечено также для бенз(а)пирена и антрацена.

Таким образом, проведенное исследование показало, что несмотря на невозможность использования традиционных для воды и донных отложений подходов для идентификации происхождения ПАУ, хорошими индикаторами влияния нефтедобывающей деятельности на водную экосистему являются содержание в мышцах бентосоядных и хищных рыб нафталина, флуорена, фенантрена, хризена, бенз(а)пирена и антрацена.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Плотникова О.А. Полициклические ароматические углеводороды: характеристики, источники, нормирование, спектроскопические методы определения (обзор) / О.А. Плотникова, Е.И. Тихомирова // Теоретическая и прикладная экология. — 2021. — 4. — с. 12-19.
2. Карнажицкая Т.Д. Анализ результатов мониторинга полициклических ароматических углеводородов в крови для оценки риска воздействия на здоровье / Т.Д. Карнажицкая, М.О. Старчикова // Анализ риска здоровью – 2023: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — 2023. — с. 160-167.
3. Халиков И.С. Содержание полициклических ароматических углеводородов в донных отложениях озера Байкал по результатам мониторинга в 2017-2018 гг / И.С. Халиков, Н.Н. Лукьянова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2020. — 6 (96). — URL: <https://research-journal.org/archive/6-96-2020-june/soderzhanie-polikiklicheskix-aromaticheskix-uglevodorodov-v-donnyx-otlozheniyax-ozera-bajkal-po-rezultatam-monitoringa-v-2017-2018-g> (дата обращения: 15.07.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.050.
4. Черняев А.П. Содержание общих и полиароматических углеводородов в донных отложениях Амурского залива (Японское море) / А.П. Черняев, Е.Н. Зык, М.С. Лягуша // Научные труды Дальрыбвтуза. — 2016. — 38. — с. 20-26.
5. Baali A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Their Influence to Some Aquatic Species / A. Baali, A. Yahyaoui; ed. by M. Ince, O.K. Ince, G. Ondrasek. — London: IntechOpen, 2019. — p. 1-19. — DOI: 10.5772/intechopen.86213.
6. Hussein I. Abdel-Shafy A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation / I. Abdel-Shafy Hussein, S.M. Mansour Mona // Egyptian Journal of Petroleum. — 2016. — 25 Iss. 1. — p. 107-123. — DOI: 10.1016/j.ejpe.2015.03.011.
7. Соловьёва О.В. Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях зоны смешения река – море на примере реки Черной и Севастопольской бухты (Черное море) / О.В. Соловьёва, Е.А. Тихонова, О.А. Миронов и др. // Морской гидрофизический журнал. — 2021. — 37 (3). — с. 362-372. — DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-362-372.

8. Хаустов А.П. Полициклические ароматические углеводороды как геохимические маркеры нефтяного загрязнения окружающей среды / А.П. Хаустов, М.М. Редина // Экспозиция нефть газ. — 2014. — 4 (36). — с. 92-96.
9. Ермолаев О.П. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / О.П. Ермолаев, М.Е. Игонин, А.Ю. Бубнов и др. — Слово: Казань, 2007. — 441 с.
10. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories: Fish sampling and analysis / USEPA. — Office of Water, Office of Science and Technology, 2000. — 471 p.
11. Никерина Н.В. Специфика биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в водных экосистемах / Н.В. Никерина, И.В. Литвиненко // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXIX молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова ; — Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, 2018. — с. 281-284.
12. Жилин А.Ю. Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в промысловых рыбах Баренцева моря / А.Ю. Жилин, Н.Ф. Плотыцына, А.М. Бондарь // Научные труды Дальрыбвтуза. — 2009. — 41. — с. 16-21.
13. Жук А.С. Разработка универсальных методик количественного определения нефтепродуктов в воде / А.С. Жук, А.И. Рубайло // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. — 2014. — 7. — с. 361-370.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Plotnikova O.A. Politsiklicheskie aromatische uglevodorody: harakteristiki, istochniki, normirovanie, spektroskopicheskie metody opredelenija (obzor) [Polycyclic aromatic hydrocarbons: characteristics, sources, standardization, spectroscopic determination methods (review)] / O.A. Plotnikova, E.I. Tihomirova // Theoretical and Applied Ecology. — 2021. — 4. — p. 12-19. [in Russian]
2. Karnazhitskaja T.D. Analiz rezul'tatov monitoringa politsiklicheskih aromaticheskikh uglevodorodov v krovi dlja otsenki riska vozdeystviya na zdorov'e [Analysis of the results of monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons in the blood to assess the risk of health effects] / T.D. Karnazhitskaja, M.O. Starchikova // Health Risk Analysis – 2023: Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. — Perm: Perm National Research Polytechnic University. — 2023. — p. 160-167. [in Russian]
3. Halikov I.S. Soderzhanie politsiklicheskih aromaticheskikh uglevodorodov v donnyh otlozhenijah ozera Bajkal po rezul'tatam monitoringa v 2017-2018 gg [Polycyclic aromatic hydrocarbons content in bottom sediments of Baikal lake according to results of monitoring in 2017-2018] / I.S. Halikov, N.N. Luk'janova // International Research Journal. — 2020. — 6 (96). — URL: <https://research-journal.org/archive/6-96-2020-june/soderzhanie-politsiklicheskih-aromaticheskikh-uglevodorodov-v-donnyh-otlozhenijah-ozera-bajkal-po-rezultatam-monitoringa-v-2017-2018-g> (accessed: 15.07.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.050. [in Russian]
4. Chernjaev A.P. Soderzhanie obschih i poliaromaticheskikh uglevodorodov v donnyh otlozhenijah Amurskogo zaliva (Japonskoe more) [Contents of total and polyaromatic hydrocarbons in bottom sediments of Amur bay (Japan/East sea)] / A.P. Chernjaev, E.N. Zyk, M.S. Ljagusha // Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. — 2016. — 38. — p. 20-26. [in Russian]
5. Baali A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Their Influence to Some Aquatic Species / A. Baali, A. Yahyaoui; ed. by M. Ince, O.K. Ince, G. Ondrasek. — London: IntechOpen, 2019. — p. 1-19. — DOI: 10.5772/intechopen.86213.
6. Hussein I. Abdel-Shafy A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation / I. Abdel-Shafy Hussein, S.M. Mansour Mona // Egyptian Journal of Petroleum. — 2016. — 25 Iss. 1. — p. 107-123. — DOI: 10.1016/j.ejpe.2015.03.011.
7. Solov'eva O.V. Politsiklicheskie aromatische uglevodorody v donnyh otlozhenijah zony smeshenija reka – more na primere reki Chernoj i Sevastopol'skoj buhty (Chernoje more) [Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Bottom Sediments of the River – Sea Mixing Zone on the Example of the River Chernaya and the Sevastopol Bay (the Black Sea)] / O.V. Solov'eva, E.A. Tihonova, O.A. Mironov et al. // Marine Hydrophysical Journal. — 2021. — 37 (3). — p. 362-372. — DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-362-372. [in Russian]
8. Haustov A.P. Politsiklicheskie aromatische uglevodorody kak geohimicheskie markery neftjanogo zagrjaznenija okruzhajuschej sredy [Polycyclic aromatic hydrocarbons as a geochemical markers for oil pollution of the environment] / A.P. Haustov, M.M. Redina // Exposition Oil & Gas magazine. — 2014. — 4 (36). — p. 92-96. [in Russian]
9. Ermolaev O.P. Landshafty Respubliki Tatarstan. Regional'nyj landshaftno-ekologicheskij analiz [Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape-ecological analysis] / O.P. Ermolaev, M.E. Igonin, A.Ju. Bubnov et al. — Slovo: Kazan', 2007. — 441 p. [in Russian]
10. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories: Fish sampling and analysis / USEPA. — Office of Water, Office of Science and Technology, 2000. — 471 p.
11. Nikerina N.V. Spetsifika bioakkumuljatsii politsiklicheskih aromaticheskikh uglevodorodov (PAU) v vodnyh ekosistemah [Specifics of bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in aquatic ecosystems] / N.V. Nikerina, I.V. Litvinenko // Topical Problems of Geology, Geophysics and Geoecology: Proceedings of the XXXIX Youth Scientific School-Conference in Memory of Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences K.O. Kratz and Academician of the Russian Academy of Sciences F.P. Mitrofanov; — Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2018. — p. 281-284. [in Russian]
12. Zhilin A.Ju. Soderzhanie politsiklicheskih aromaticheskikh uglevodorodov (PAU) v promyslovyh rybah Barentseva morja [The content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in commercial fishes of the Barents sea] / A.Ju. Zhilin, N.F. Plotitsyna, A.M. Bondar' // Scientific Proceedings of Dalrybvtuz. — 2009. — 41. — p. 16-21. [in Russian]

13. Zhuk A.S. Razrabotka universal'nyh metodik kolichestvennogo opredelenija nefteproduktov v vode [Development of Universal Quantitative Definition Techniques of Oil Products in Water] / A.S. Zhuk, A.I. Rubajlo // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. — 2014. — 7. — p. 361-370. [in Russian]