

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ р. Томь

**Представлены результаты определения суммарного содержания углеводородов и их компонентного состава в воде и донных отложениях р. Томь. Выявлены основные группы органических соединений: алканы, полициклоароматические углеводороды (нафталины, бифенилы, фенантрены, флуорантены, бензфенантрены, бенз(а)пирен), ароматические углеводороды (алкилбензолы, стирол), фталаты, которые имеют как природное, так и антропогенное происхождение. Рассчитаны коэффициенты техногенности для воды и донных отложений.**

## Введение

Экологическое состояние окружающей среды является одной из наиболее острых социально-экономических проблем в мире. Почвенный покров, водоемы и атмосфера – основные ресурсы жизнедеятельности человека – в первую очередь страдают от химических загрязнений, поэтому их состояние важно для характеристики природной среды.

Р. Томь можно рассматривать как объект для исследования процессов, происходящих с органическими веществами в речной системе, поскольку располагающиеся на её берегах крупные промышленные центры находятся на довольно больших расстояниях друг от друга и чередуются с малоосвоенными территориями, представляющими собой самовосстанавливающиеся участки водной системы. К тому же, от г. Новокузнецк и ниже по реке роза ветров перпендикулярна направлению течения, следовательно, зоны загрязнения не размыты, а достаточно локализованы.

На берегах р. Томь расположено несколько крупных городов – Томск, Юрга, Кемерово, Новокузнецк, в каждом из которых находятся металлургические и химические заводы, крупные ТЭЦ, а также ряд промышленных

предприятий, специализирующихся на добыче угля. Промышленные выбросы предприятий, работающих на угле, являются основными источниками полициклоароматических углеводородов (ПАУ). Известно, что эти соединения медленно деградируют и в течение долгого времени накапливаются в донных отложениях. ПАУ, их многочисленные производные и аналоги являются сильнейшими химическими трансформерами биосферы, вызывающими в живых организмах различные онкогенные, мутагенные, токсикогенные и другие изменения. Именно поэтому ПАУ являются самым опасным классом органических веществ в речной системе [1].

Работы по изучению химического состава р. Томь проводились и ранее [2, 3], но в этих работах авторы в основном определяли концентрации неорганических веществ и суммарные концентрации нефтепродуктов.

На протяжении нескольких лет нами проводился экологический мониторинг бассейна р. Томь. В работе [4] приведены данные по суммарному содержанию углеводородов, а также концентрации индивидуальных органических веществ в бассейне р. Томь за 2005 г. Опасность загрязнения речной воды связана не только с непосредственным ее использованием, но и с проникновением органических компонентов в приповерхностные и подземные воды, которые во многих городах являются источником питьевой воды. Поэтому контроль состояния речной воды очень важен, в первую очередь, для сохранения здоровья населения [5].

В данной работе представлены результаты анализа воды и донных отложений р. Томь на содержание органических примесей.

## И.В. Русских\*,

научный сотрудник,  
ФГБУН Институт  
химии нефти  
Сибирского  
отделения Российской  
академии наук

## Е.В. Гулая,

младший научный  
сотрудник, ФГБУН  
Институт химии нефти  
Сибирского  
отделения Российской  
академии наук

## П.Б. Кадычагов,

научный сотрудник,  
ФГБУН Институт  
химии нефти  
Сибирского  
отделения Российской  
академии наук

\* Адрес для корреспонденции: rus@ipc.tsc.ru

Пробы были отобраны в 2011 г. от г. Междуреченск до пос. Козюлино выше и ниже по течению практически для каждого из исследованных населенных пунктов. Пробы у пос. Оськино, р. Обь были отобраны для сравнения и оценки загрязнения, попадающего из р. Томь в р. Обь. На *рис. 1* представлена карта-схема расположения точек пробоотбора.

**М. А. Дучко**,  
магистрант, ФГБОУ  
ВПО Национальный  
исследовательский  
Томский  
государственный  
университет

Групповой и индивидуальный состав органических соединений исследовали методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) в соответствии с [8]. Работа выполнена с использованием магнитного хромато-масс-спектрометра DFS фирмы «Thermo Scientific» (Германия) с кварцевой капиллярной хроматографической колонкой фирмы «Thermo Scientific» внутренним диаметром 0,25 мм, длиной 30 м, неподвижной фазой TR-5MS толщиной 0,25 мкм. Режим работы хроматографа: газ-носитель – гелий, температуры испарителя и интерфейса ~ 250 °С; программа нагрева термостата:  $t_{\text{нач}} = 80$  °С, изотерма ~ в течение 2 мин, нагрев со скоростью 4 град/мин до  $t_{\text{макс}} = 300$  °С. Режим работы масс-спектрометра: метод ионизации – электронный удар; энергия ионизирующих электронов – 70 эВ; температура ионизационной камеры 250 °С; диапазон регистрируемых масс 50-500 Да; длительность развертки спектра 1 с.

Индивидуальные соединения идентифицировали по полным масс-спектрам, для этого использовали данные, имеющиеся в литературе, а также компьютерную библиотеку масс-спектров NIST-5, насчитывающую более 163 тыс. наименований.

## Материалы и методы исследования

Определение суммарной концентрации углеводов в пробах воды и донных отложений проводили методом ИК-спектрометрии в соответствии с [6, 7]. В работе использовали ИК-Фурье спектрометр NICOLET 5700 (разрешение 4 см<sup>-1</sup>, число сканов пробы 64), регистрацию спектров проводили в диапазоне частот 3100-2700 см<sup>-1</sup>, в кюветах с толщиной поглощающего слоя 10 мм, изготовленных из NaCl.

**Рис. 1.** Карта-схема района исследования р. Томь. 1 – выше г. Междуреченск; 2 – выше г. Новокузнецк; 3 – нижний мост г. Новокузнецк; 4 – выше г. Кемерово; 5 – ниже г. Кемерово; 6 – выше г. Юрга; 7 – ниже г. Юрга; 8 – выше г. Томск; 9 – ниже г. Томск; 10 – устье р. Томь, пос. Козюлино; 11 – р. Обь, пос. Оськино.



## Результаты и их обсуждение

Суммарное содержание углеводов в воде и донных отложениях р. Томь определено методом ИК-спектрометрии (*табл. 1*). Практически во всех пробах воды концентрации углеводов выше ПДК (в 1,2–13,4 раз). Минимальная концентрация углеводов обнаружена в р. Обь, пос. Оськино, а максимальное их количество наблюдается в р. Томь ниже г. Кемерово. По результатам анализа донных отложений в соответствии с классификацией [9] к категории «умеренно загрязненные» (0,025–0,055 г/кг) относятся участки: выше г. Юрга, ниже г. Томск, пос. Козюлино и Оськино. В категорию «загрязненные» (от 0,055 до 0,205 г/кг) попадают все остальные участки. В воде и донных отложениях были выявлены основные группы загрязняющих веществ: алканы, ПАУ (нафталины, бифенилы, фенантроны, флуорантены, бензфенантроны, бенз(а)пирен), ароматические углеводороды (алкилбензолы, стирол), фталаты. Суммарные концентрации всех обнаруженных классов веществ приведены в *табл. 2* и *3*.

Во всех исследованных пробах воды и донных отложений наблюдается преобладание легких алканов нормального строения (до C<sub>20</sub> включительно) над тяжелыми (от C<sub>21</sub>

**Таблица 1**

Концентрация углеводов в воде и донных отложениях р. Томь

№ пробы	Место пробоотбора	Концентрация углеводов	
		в воде*, мг/дм <sup>3</sup>	в донных отложениях, г/кг
1	р. Томь, выше г. Междуреченск	1,44±0,35	0,06±0,02
2	р. Томь, выше г. Новокузнецк	1,64±0,39	0,11±0,03
3	р. Томь, ниже г. Новокузнецк	1,21±0,29	0,11±0,03
4	р. Томь, выше г. Кемерово	0,92±0,22	0,07±0,02
5	р. Томь ниже г. Кемерово	4,02±0,96	0,12±0,03
6	р. Томь, выше г. Юрга	0,65±0,16	0,03±0,01
7	р. Томь, ниже г. Юрга	0,47±0,11	0,15±0,04
8	р. Томь, выше г. Томск	1,02±0,25	0,06±0,02
9	р. Томь, ниже г. Томск	0,42±0,10	0,04±0,01
10	Устье р. Томь, пос. Козюлино	0,36±0,09	0,05±0,01
11	р. Обь, пос. Оськино	0,28±0,07	0,04±0,01

\*Предельно допустимые концентрации (ПДК) нефтепродуктов в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для хозяйственных нужд составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup>

и более), что характерно для свежих (недеградированных) разливов нефтепродуктов. Ниже по течению как в воде, так и в донных отложениях легких алканов становится меньше, чем тяжелых, что свидетельствует о более высокой степени деградации попавшего в реку нефтяного загрязнения. На рис. 2 и 3 в качестве примера представлены молекулярно-массовые распределения алканов в пробах донных отложений и воды, отобранных выше и ниже г. Новокузнецк и г. Юрга, как на участках реки с максимальным содержанием всех идентифицированных классов органических веществ.

Общая картина распределения ароматических и полициклоароматических углеводов в воде и донных отложениях совпадает с результатами, полученными для алканов. Концентрации большинства соединений максимальны в донных отложениях ниже городов Новокузнецк и Юрга, поскольку ароматические и полициклоароматические

**Таблица 2**

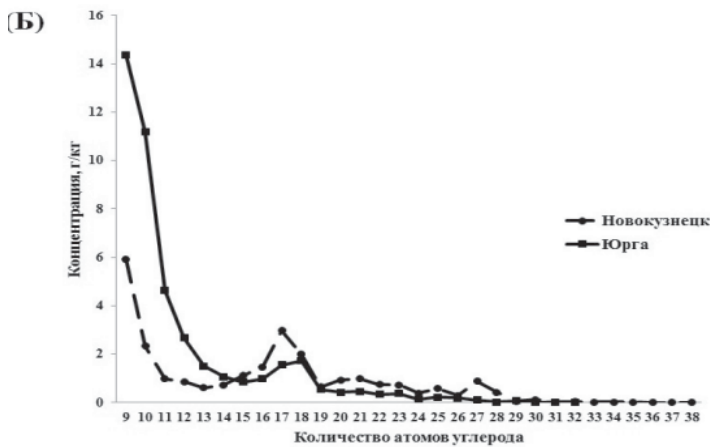
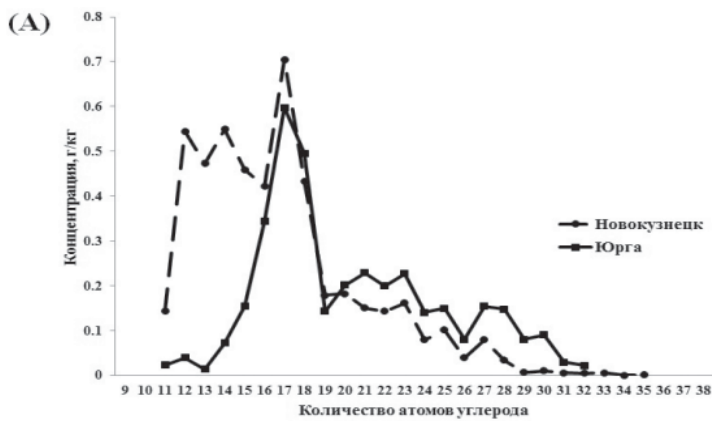
Концентрации органических веществ в донных отложениях р. Томь, мг/кг

№ пробы	А	Н	БФ	Ф	ФЛ	БФ	ФТ	С	АБ	БП
1	10,53	0,36	0,03	0,05	0,02	<0,01	17,40	0,03	4,18	<0,01
2	4,93	0,56	0,01	0,01	<0,01	<0,01	22,26	<0,01	0,63	<0,01
3	25,87	7,78	1,15	1,36	0,19	0,08	56,69	0,05	8,20	0,02
4	7,75	1,26	0,01	0,08	0,01	<0,01	30,19	0,02	1,93	<0,01
5	5,99	0,62	0,02	0,05	0,01	<0,01	2,64	0,04	1,86	<0,01
6	3,65	0,23	0,05	0,36	0,37	0,09	38,75	<0,01	3,56	0,23
7	43,42	2,19	0,07	0,50	0,46	0,33	65,43	0,21	18,23	0,24
8	5,44	0,40	0,01	0,11	0,04	<0,01	55,67	0,02	3,52	0,03
9	6,77	0,83	0,02	0,12	0,09	0,01	19,97	<0,01	1,78	0,03
10	12,66	2,89	0,16	0,38	0,24	0,02	68,29	0,02	3,79	0,15
11	4,62	0,20	0,03	0,02	<0,01	<0,01	16,93	0,01	4,93	<0,01

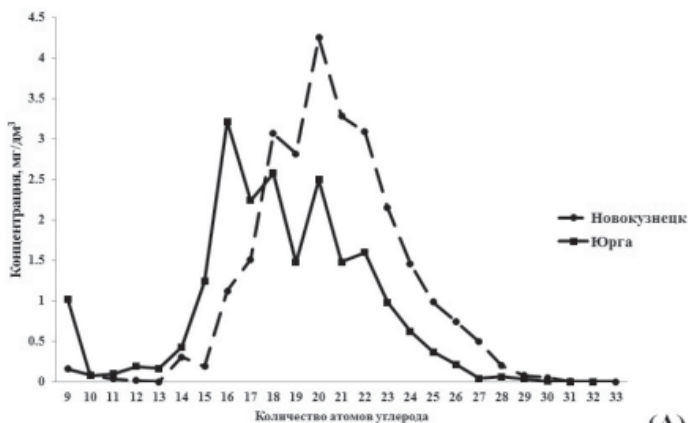
А – алканы, Н – нафталины, БФ – бифенилы, Ф – фенантрены, ФЛ – флуорантены, БФ – бензфенантрены, ФТ – фталаты, С – стирол, АБ – алкилбензолы, БП – бенз(а)пирен.

**Таблица 3**Концентрации органических веществ в воде р. Томь, мкг/дм<sup>3</sup>

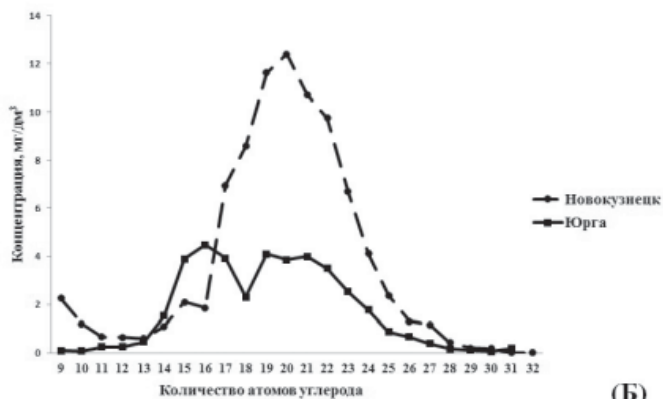
№ пробы	А	Н	БФ	Ф	ФЛ	БФ	ФТ	С	АБ	БП
1	21,94	0,04	0	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,55	0,79	0,06	< 0,01
2	26,15	0	0	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,26	0,14	0,02	0
3	8,69	0,19	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	2,01	2,30	0,17	< 0,01
4	6,29	0	0,04	0,05	< 0,01	< 0,01	8,24	1,23	0,28	< 0,01
5	29,12	0	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3,44	1,11	0,11	< 0,01
6	20,68	0,06	0	0,01	< 0,01	< 0,01	1,58	2,19	0,10	< 0,01
7	39,48	0	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	1,42	0,09	0,18	< 0,01
8	35,79	1,62	0,07	0,07	< 0,01	0	15,44	8,79	0,47	0,01
9	19,26	0,15	0,02	0,03	< 0,01	< 0,01	1,26	0,01	0,05	< 0,01
10	25,43	0,17	0,05	0,01	< 0,01	< 0,01	0,12	1,11	0,51	< 0,01
11	5,86	0	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,09	< 0,01	0,02	< 0,01



↑ **Рис. 2.** Молекулярно-массовое распределение алканов в пробах донных отложений, отобранных выше (А) и ниже (Б) г. Новокузнецк и г. Юрга.



(А)



(Б)

углеводороды практически не растворимы в воде и имеют тенденцию аккумулироваться в донных отложениях непосредственно рядом с местом их выброса. Высокие концентрации органических соединений в пробах воды, отобранных выше городов Томск и Кемерово, можно также объяснить выбросами с промышленных предприятий, которые к моменту отбора проб воды смыты и, адсорбируясь на взвешенных частицах, опустились ниже по течению. Для всех классов ароматических соединений были рассчитаны концентрации незамещенных и метилзамещенных продуктов. В донных отложениях концентрация метилнафталинов максимальна в пос. Козюлино, диметилбифенилов – выше г. Междуреченск, флуорантена – ниже г. Кемерово; в воде наибольшее содержание бифенила наблюдается выше г. Кемерово, бензфенантрена – в пос. Оськино, алкилбензолов – в пос. Козюлино. Высокие концентрации флуорантена и бифенила в районе г. Кемерово можно объяснить тем, что этот город является крупным промышленным центром, который также вносит свой вклад в общее загрязнение реки.

В воде и донных отложениях на всех исследуемых участках наблюдается значительное преобладание фталатов и алкилбензолов. Общее содержание фталатов в донных отложениях максимально в пос. Козюлино, в воде – выше г. Томск.

На *рис. 4* приведены гистограммы, отражающие суммарное содержание ПАУ в пробах донных отложений и воды, отобранных ниже г. Новокузнецк, в которых преобладают нафталины, что характерно для всех исследованных проб. На *рис. 5* в качестве примера приведены гистограммы, отражающие содержание нафталина и его производных в пробах донных отложений и воды, отобранных ниже г. Новокузнецк. Во всех пробах наблюдается преобладание метилзамещенных гомологов нафталина. Преобладание метилзамещенных гомологов наблюдается также для бифенилов, фенантронов и бензфенантронов, что свидетельствует о свежем загрязнении [1]. Данные по содержанию алканов, циклических и ароматических соединений, полученные методом ХМС, в целом согласуются с результатами ИК-спектрометрии по суммарному содержанию углеводородов. В качестве индикатора антропогенного загрязнения природной среды ПАУ принято рассматривать бенз(а)пирен [10]. Считается,

← **Рис. 3.** Молекулярно-массовое распределение алканов в пробах воды, отобранных выше (А) и ниже (Б) г. Новокузнецк и г. Юрга.

что фоновый уровень его содержания в чистых водоемах и почвах не превышает 1-3 нг/г; загрязнение 20-30 нг/г считается умеренным, а от 30 до 100 нг/г – значительным. Согласно этой классификации исследуемые участки р. Томь выше и ниже г. Юрга, а также пос. Козюлино считаются значительно загрязненными. Концентрации бенз(а)пирена в донных отложениях, отобранных в г. Междуреченск, выше г. Новокузнецк, выше и ниже г. Кемерово, а также в пос. Оськино соответствуют фоновому уровню, все остальные участки р. Томь можно отнести к умеренно загрязненным. Максимальная концентрация бенз(а)пирена в донных отложениях наблюдается ниже г. Юрга, в воде – выше г. Томск, что может свидетельствовать о свежем выбросе ПАУ.

Различные классы органических соединений в воде и донных отложениях могут быть как антропогенного, так и природного происхождения. Для оценки уровня антропогенной нагрузки используют коэффициенты техногенности [11]. К техногенным ПАУ относят флуорантен, пирен, бенз(а)пирен, к природным – хризен, трифенилен, фенантрен, перилен. Соотношение так называемых «техногенных» и «природных» ПАУ называют коэффициентом техногенности (К). Если  $K < 1$ , то в акватории преобладают углеводороды природного происхождения, если  $K \geq 1$  (вплоть до 10-20) – то в акватории преобладают техногенные углеводороды. Коэффициенты техногенности для исследованных в данной работе проб воды и донных отложений были рассчитаны по формуле [1, 12] и приведены в табл. 4:

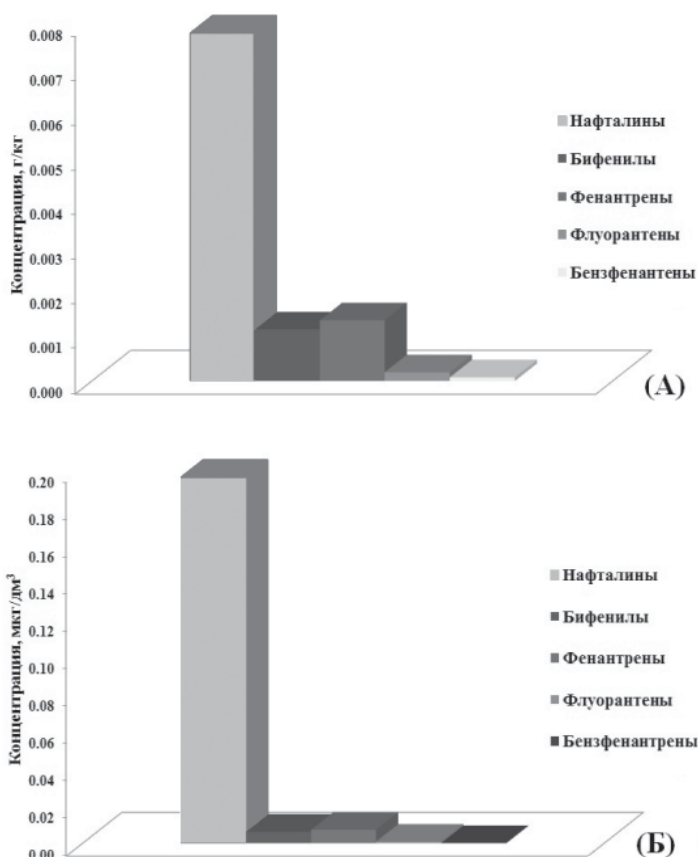
$$K = \Phi Л + П + БП/ПЛ + \Phi + ХР,$$

где ФЛ – флуорантен, П – пирен, БП – бенз(а)пирен, ПЛ – перилен, Ф – фенантрен, ХР – хризен.

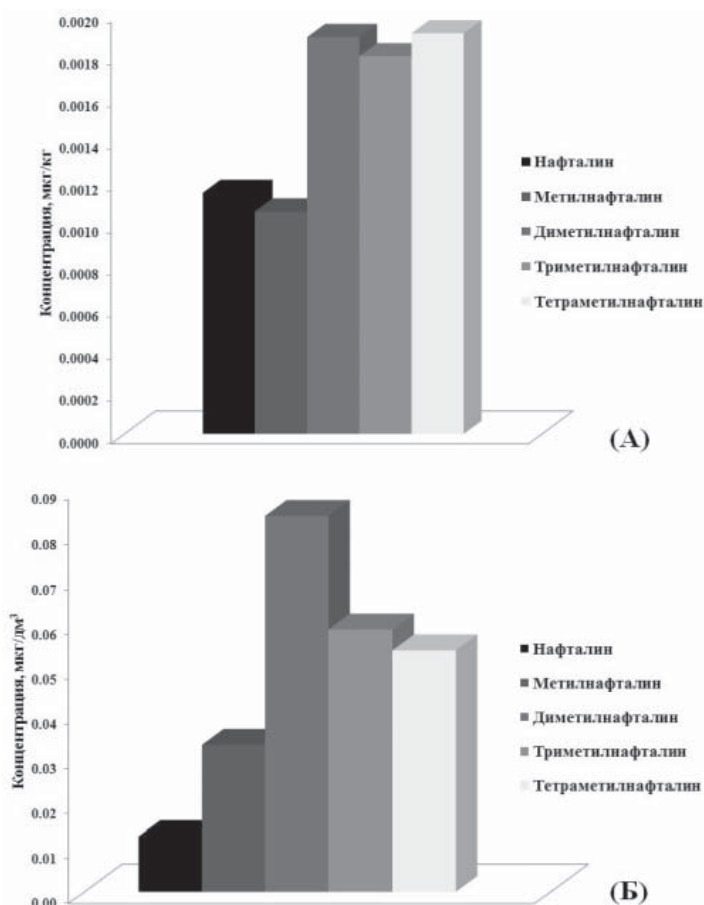
Коэффициенты техногенности для проб донных отложений, отобранных ниже г. Кемерово и выше г. Юрга являются максимальными и больше 1, что свидетельствует о преобладании техногенных углеводородов на этих участках. Для проб воды самые высокие К наблюдаются в пос. Оськино и ниже г. Томск.

Для оценки динамики изменения фонового содержания органических соединений за 2007, 2008, 2009, 2011 гг. проанализировали пробы воды и донных отложений р. Обь,

**Рис. 5.** Концентрация алкилнафталинов в пробах донных отложений (А) и воды (Б), отобранных ниже г. Новокузнецк. →



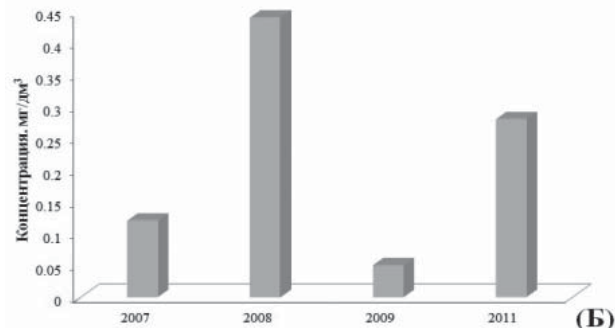
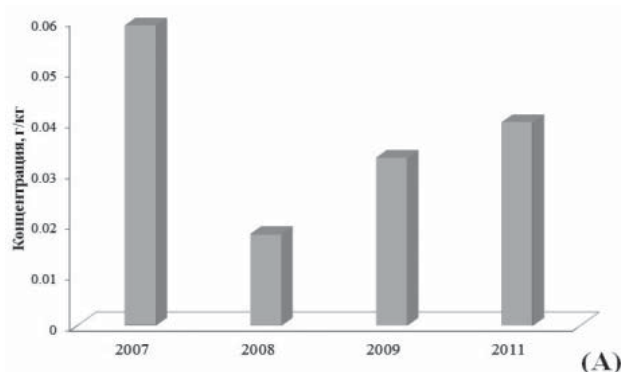
↑ **Рис. 4.** Распределение ПАУ в пробах донных отложений (А) и воды (Б), отобранных ниже г. Новокузнецк.



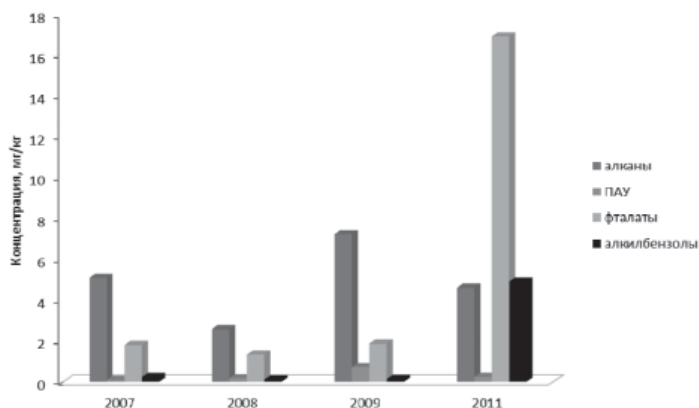
**Таблица 4**

Коэффициенты техногенности для донных отложений и воды р. Томь, 2011 г.

№ пробы	Коэффициент техногенности	
	в донных отложениях	в воде
1	0,738	0,081
2	0,911	0,341
3	0,377	0,486
4	0,390	0,217
5	1,391	0,329
6	1,055	0,107
7	0,934	0,195
8	0,943	0,112
9	0,883	0,916
10	0,890	0,622
11	0,124	1,333



↑ **Рис. 6.** Суммарные концентрации углеводов в донных отложениях (А) и воде (Б), отобранных в пос. Оськино в 2007, 2008, 2009 и 2011 гг.



отобранных у пос. Оськино. Изменение суммарного содержания углеводов в донных отложениях и в воде с течением времени показано на гистограммах (рис. 6). Так, суммарная концентрация углеводов в воде варьирует от 0,05 до 0,44 мг/дм<sup>3</sup>, максимально превышая ПДК в 1,47 раз (в 2008 г.). В донных отложениях содержание углеводов находится в пределах 0,018-0,059 г/кг, что позволяет отнести этот участок реки, в соответствии с классификацией [9], к «загрязненному» (в 2007 г.) и «умеренно загрязненному» (в 2009 и 2011 гг.). На рис. 7 приведены гистограммы, показывающие изменение содержания некоторых классов соединений (алканов, ПАУ, фталатов и алкилбензолов) в донных отложениях. Максимальная концентрация алканов наблюдалась в 2007 г., ПАУ – в 2009 г., фталатов и алкилбензолов – в 2011 г. Результаты исследования органических примесей воды и донных отложений р. Томь, проведенного в 2011 г., в целом не расходятся с результатами, полученными в 2005 г. и близки как по качественному, так и по количественному составу [4]. Молекулярно-массовые распределения алканов имеют сходный характер, максимальные концентрации алканов и ПАУ также наблюдаются в районе г. Юрга и г. Новокузнецк, фталатов – ниже г. Томск, что свидетельствует о стабильной экологической обстановке в этом регионе.

## Заключение

**М**етодами хромато-масс- и ИК-спектрометрии был исследован качественный и количественный состав органических примесей в воде и донных отложениях р. Томь. Идентифицированы основные классы соединений: алканы, ПАУ (нафталины, бифенилы, фенантроны, флуорантены, бензфенантроны, бенз(а)пирен), ароматические углеводороды (алкилбензолы, стирол) и фталаты. Для всех исследованных проб воды и донных отложений были рассчитаны суммарные концентрации органических примесей и коэффициенты техногенности. Полученные результаты указывают на то, что основными источниками загрязнения р. Томь являются промышленные центры, наибольший вклад вносят города Новокузнецк и Юрга. Максимальное содержание органических загрязнителей было обнаружено в пробах донных отложений, отобранных ниже

← **Рис. 7.** Концентрации алканов, ПАУ, фталатов и алкилбензолов в донных отложениях пос. Оськино в 2007, 2008, 2009 и 2011 гг.

г. Новокузнецк и г. Юрга, а в воде – выше г. Кемерово и г. Томск. Коэффициенты техногенности максимальны для проб донных отложений, отобранных ниже г. Кемерово и выше г. Юрга. Для воды самые высокие коэффициенты техногенности рассчитаны для проб, отобранных в пос. Оськино и ниже г. Томск.

### Литература

1. Ровинский Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф.Я. Ровинский, Т.А. Теплицкая, Т.А. Алексеева. Л: Гидрометеоиздат. 1988. 224 с.
2. Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. Под редакцией В.В. Зуева, А.В. Куровского, С.Л. Шварцева. Томск: ООО «Издательство РАСКО». 2002. 390 с.
3. Конторович А.Э. Органические микропримеси в пресных водах бассейнов Томи и Верхней Оби / А.Э. Конторович, С.Л. Шварцев, В.А. Зуев, Н.М. Рассказов, Ю.П. Туров // Геохимия. 2000. № 5. С. 533-544.
4. Кадычагов П.Б. Особенности распределения органических примесей в природных водах и донных осадках бассейна реки Томь / П.Б. Кадычагов, И.В. Русских, Е.А. Белицкая // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 7. С. 35-40.
5. Гриценко А.И. Экология. Нефть и газ / А.И. Гриценко, Г.С. Аكوпова, В.М. Максимов. М.: Наука. 1997. 597 с.
6. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой

### Ключевые слова:

пробы воды и донных отложений, алканы, полициклоароматические углеводороды (ПАУ), ИК-спектметрия, хромато-масс-спектметрия (ХМС)

доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК спектметрии. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. М: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1998. 16 с.

7. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИК спектметрии. ПНД Ф 14.1:2.5-95. М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, 2004. 15 с.

8. Методика идентификации органических соединений в смесевых композициях синтетического и природного происхождения методом хромато-масс-спектметрии. СТП СШЖИ 1232-2009, 2009. 3 с.

9. Уварова В.И. Современное состояние уровня загрязненности вод и грунтов Обь-Иртышского бассейна // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1989. Вып. 305. С. 23-33.

10. Ильницкий А.П. Канцерогенные вещества в окружающей среде / А.П. Ильницкий, В.Г. Клубков, В.С. Мищенко. М.: Гидрометеоиздат, 1978. 72 с.

11. Туров Ю.П. Многомерный анализ данных в нефтяной геохимии и химии окружающей среды / Ю.П. Туров, М.Ю. Гузньева. Сургут. Гос. Ун-т. – ООО «Типография «Печатное дело», Ханты-Мансийск 2010. 212 с.

12. Немировская И.А. Углеводороды в экосистеме Японского моря // Геохимия. 1999. № 1. С. 44-50.

I.V. Russkikh, E.V. Gulaya, P.B. Kadychagov, M.A. Duchko

## ORGANIC COMPOUNDS DISTRIBUTION IN SURFACE WATERS AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE TOM` RIVER

This article represents results on evaluation of total hydrocarbon content and their component composition in water and bottom sediments of the river Tom. Basic organic compound groups of nature or human origin were detected: alkanes, polycyclic aromatic hydrocarbons (naphthalenes, diphenyls, phenanthrenes, fluoranthenes, benzophenanthrenes, benzapyrenes), aromatic hydrocarbons (alkyl benzenes, styroles), phthalates. Technogenic coefficients for water and bottom sediments were calculated.

**Key words:** water and bottom sediments samples, alkanes, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), IR spectrometry, gas chromatography mass spectrometry.