

## БЕНЗ(а)ПИРЕН В ОЗЕРАХ ЮЖНОГО УРАЛА

С.В. Гаверилкина<sup>1</sup>, А.В. Уржумова<sup>2</sup>, А.В. Дьяченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ильменский государственный заповедник, г. Миасс

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В работе исследуется загрязнение бенз(а)пиреном озер Южного Урала. Отбор проб проводился из семнадцати различных по морфометрии озер Челябинской области и двух водохранилищ. Для контроля содержания бенз(а)пирена в озерах предложена методика определения массовой концентрации этого высокотоксичного канцерогена в пробах вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, которую проводили с использованием анализатора жидкости в качестве детектора «Флюорат-02» с хроматографической приставкой ВЭЖХ-3.

Исследование проводилось по методике БП М 01-21-2001, которая включает пробоподготовку, градуировку жидкостного хроматографа и определение бенз(а)пирена на основе его экстракции из проб воды n-гексаном (хлористым метиленом). Идентификация пика БП на хроматограмме была определена с помощью программного обеспечения «МультиХром». Для определения количественного содержания бенз(а)пирена в пробе воды проводят хроматографический анализ градуировочного раствора и подготовленной пробы.

По результатам исследования получена сводная таблица содержания БП в водах озер Южного Урала, из которой выявлено, что бенз(а)пирен обнаруживается во всех исследованных южноуральских озерах и водохранилищах в различных концентрациях от минимальных – 0,2 ПДК<sub>СанПин</sub> до 1–4 ПДК<sub>СанПин</sub>. С помощью диаграммы рассеяния с доверительным интервалом показано, что максимальные концентрации углеводородов находятся в 20–25-километровой зоне техногенного воздействия.

*Ключевые слова:* бенз(а)пирен, полициклический углеводород, хроматографический анализ, южноуральские озера, химический анализ вод.

### Введение

Бенз(а)пирен (БП) – это полициклический углеводород состава C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>, образующийся при воздействии высокой температуры на некоторые органические вещества. БП обладает высокой канцерогенной и мутагенной активностью и в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения должен контролироваться в природных поверхностных водах.

Загрязнению БП подвержены водоемы, расположенные в урбанизированных районах, а Южный Урал – озерный край, является регионом, насыщенным предприятиями черной и цветной металлургии, машиностроения и развитой транспортной сетью.

Нормативы Российской Федерации по содержанию бенз(а)пирена в воде – 0,01 мкг/л [1] и 0,005 мкг/л [2]. Обнаружение БП в поверхностных водах свидетельствует о присутствии в них других канцерогенных и неканцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) [3–5], индикатором которых в окружающей среде он является. По уровню содержания БП в воде можно судить об общем содержании приоритетных ПАУ [6, 7]. Обнаружение БП в воде [8] является свежим (или постоянным) сбросом, содержащих загрязнитель.

Попадая в водоем вместе с промышленными стоками и атмосферными осадками, БП быстро растекается по его поверхности, образуя эмульсию, изменяющую физико-химические показатели воды. Даже тончайшая пленка БП изолирует воду от кислорода, что приводит к ухудшению газообмена, повышению температуры поверхностного слоя воды. БП практически нерастворим в воде и образует коллоидные растворы [9–11].

В водной среде транслокация БП включает в себя как его перераспределение между отдельными объектами (вода, планктон, донные отложения и др.), так и аккумуляцию живыми

## Аналитическая химия

организмами и распространение с водой. Некоторая часть БП, испаряясь с водой, может попадать и в атмосферный воздух. Основная же часть сорбированных на средне- и крупнодисперсных частицах БП оседает на дно, формируя уровень загрязнения донных отложений, и поступает в растения [12]. Соответственно концентрация БП в воде существенно ниже, чем в донных отложениях. Более того, последние являются своеобразным депо для вторичного загрязнения воды описываемым углеводородом. Поступивший в растения и фитопланктон БП аккумулируется в них и попадает в другие водные организмы.

Так, в донном иле Великих озер США концентрация БП изменяется от 10 до 1000 нг/г. В озерных отложениях стран Европы содержание БП составляет в Швейцарии 100–700 нг/г и в Германии 200–300 нг/г [8].

Челябинскими исследователями в 2015 г. было выявлено техногенное загрязнение бенз(а)пиреном поверхностных и подземных вод, гидрофитов и донных отложений. Содержание вещества в воде отдельных участков реки Миасс было выше предельно допустимой концентрации по сравнению с другими водоисточниками. Гидрофиты в зависимости от вида и места их обитания характеризовались различными значениями коэффициента накопления бенз(а)пирена. Содержание вещества в донных отложениях увеличивалось по ходу течения р. Миасс [13–15].

### Методика исследования

Пробы отбирались с 2006 по 2015 г. в период открытой воды из семнадцати различных по морфометрии озер Челябинской области и двух водохранилищ. Водоемы принадлежат к различным ландшафтным зонам, гидрохимическим типам (табл. 1) и с разной минерализацией.

Таблица 1

Морфометрия, географическое положение озер Южного Урала

№ п/п	Озера, водоемы	Географические координаты, широта/долгота (высота в м)	Площадь водного зеркала $f$ , км <sup>2</sup>	Площадь водосбора $F$ , км <sup>2</sup>	Глубина озера, $H_{\text{макс}}/H_{\text{сред}}$	Объем водной массы, млн/м <sup>3</sup>	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Гидрохимическая классификация
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Аракуль	55,995428/ 60,523606 (298)	3,0	21,6	12,0/6,3	21,9	210,0–220,0	HCO <sub>3</sub> –Ca–Na
2	Аргазинское водохранилище	55,393286/ 60,383306 (269)	113	–	14,0/6,5	966,1	231,9–354,0	HCO <sub>3</sub> –Ca
3	Большое Миассово	55,155081/ 60,278719 (290)	11,4	160,0	22,5/11,3	132,1	183,0–300,0	HCO <sub>3</sub> –Ca–Na
4	Большой Кисегач	55,040693/ 60,307912 (312)	15,4	114,0	31,0/13,1	201,2	242,8–262,6	HCO <sub>3</sub> –Ca–Mg
5	Большой Еланчик	54,893804/ 60,214388 (360)	3,12	14,5	14,0/6,9	26,5	211,2–221,5	HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub> –Ca
6	Большой Ишкуль	55,508134/ 60,193706 (330)	2,55	–	15,0/7,9	19,6	120,0–150,0	HCO <sub>3</sub> –Ca–Na
7	Верхне-Иремельское водохранилище	54,857228/ 59,889236 (376)	6,6	–	9/–	43,1	391,2–414,2	HCO <sub>3</sub> –Ca–Mg
8	Еловое	54,995627/ 60,307628 (318)	3,12	14,5	13,5/8,1	26,5	267,4–230,2	HCO <sub>3</sub> –Ca

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Зюраткуль	54,908589/ 59,218992 (724)	13,2	178,0	3,4/12,0	32,8	27,5–60,0	HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub> –Ca
10	Кошкуль	55,016668/ 60,030995 (343)	0,14	–	6,0/4,0	–	223,3–246,0	HCO <sub>3</sub> –Ca
11	Круглое	55,247411/ 61,527174 (211)	6,5	–	12,0/4,8	0,28	822,9–917,0	HCO <sub>3</sub> –Na
12	Смолино	55,084988/ 61,437532 (217,2)	27,2	67,2	6,7/3,8	107,8	826,8– 1191,0	Cl–Na
13	Сугояк	55,368157/ 61,724209 (201)	13,4	53,6	7,0/4,1	54,6	1257,0– 1437,0	HCO <sub>3</sub> –Na–Cl
14	Увильды	55,522152/ 60,501037 (270)	68,1	128,0	38,0/14,2	1014,0	270,0–320,0	HCO <sub>3</sub> –Ca–SO <sub>4</sub>
15	Тургояк	55,146842/ 60,075472 (315)	26,4	76,0	32,5/19,2	507	137,3–147,8	HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub> –Ca
16	Табанкуль	55,008032/ 60,326616 (316)	0,43	8,0	5,1/2,6	1,2	358,0–326,0	HCO <sub>3</sub> –Na–Ca
17	Иткуль	56,150132/ 60,536049 (273)	30,1	124,0	16,6/7,8	234,8	132,0–143,3	HCO <sub>3</sub> –Ca–Mg
18	Ильменское	55,008372/ 60,1465 (327)	4,6	87,4	6,1/3,2	14,6	270,0–350,0	HCO <sub>3</sub> –Na–SO <sub>4</sub>
19	Малое Миассово	55,168857/ 60,469827 (290)	12,0	300	7,8/4,7	56,4	300,0–320,0	HCO <sub>3</sub> –Ca

Определение массовой концентрации бенз(а)пирена в пробах вод методом жидкостной хроматографии [14–16] проводили с использованием анализатора жидкости в качестве флуориметрического детектора «Флюорат–02» с хроматографической приставкой ВЭЖХ–3. Методика определения БП М 01-21-2001 соответствует ГОСТ Р 51310–99 [17].

Метод измерения основан на экстракции бенз(а)пирена из проб воды *n*-гексаном (хлористым метилом), концентрировании экстракта, хроматографическом его разделении, регистрации сигнала флуоресценции с использованием флуоресцентного детектора, идентификации пика БП на хроматограмме с программным обеспечением «МультиХром», проводим расчет массовой концентрации БП. Диапазон массовой концентрации от 0,002 до 0,5 мкг/дм<sup>3</sup> (при анализе пробы объемом 1 литр).

Для определения количественного содержания БП в пробе воды проводят хроматографический анализ одного из градуировочных растворов и далее хроматографический анализ подготовленной пробы. Для достоверности измерений хроматографический анализ, как градуировочного раствора, так и подготовленной пробы проводят не менее 2 раз подряд.

Используя установленное программное обеспечение – «МультиХром для Windows XP», которое автоматически определяет результат в виде концентрации в пробе, введенной в хроматограф, но не в исходном образце, взятом для исследования.

Для получения результата провели два параллельных измерения (получили две хроматограммы). За результат измерений принимаем среднее арифметическое значение содержания БП в концентрате анализируемой пробы  $S_{хр}$ , мкг/л (рассчитали из двух значений массовой концентрации БП в концентрате анализируемой пробы  $C_1$  и  $C_2$ ).

## Аналитическая химия

Массовую концентрацию бенз(а)пирена в анализируемой пробе (в исходном образце)  $X$ , мкг/л рассчитали по формуле [18]:

$$X = \frac{\bar{C}_{\text{хр}} \cdot V_2}{k_{\text{ТФ экстр}} \cdot V_1} \cdot 1000,$$

где  $\bar{C}_{\text{хр}}$  – среднее значение из параллельных измерений концентрации бенз(а)пирена при хроматографическом анализе (из хроматографа) [мкг/л];  $V_1$  – объём пробы в мл, отобранной для концентрирования (объём пробы воды составляет 60 мл);  $k_{\text{ТФ экстр}}$  – коэффициент твердофазной экстракции бенз(а)пирена, равен 0,95;  $V_2$  – конечный объём пробы, мл.

### Результаты и их обсуждение

Бенз(а)пирен обнаруживается в водах южноуральских озер в различных концентрациях от 0,2 ПДК<sub>СанПинн</sub> до 1–4 ПДК<sub>СанПинн</sub>. Максимальные концентрации фиксируются в весеннее время (май, начало июня), т. е. поступление углеводородов в озера происходит с тальми водами.

Содержание БП во льду выше, чем в воде, что связывается с их накоплением за счёт вмёрзания углеводородной плёнки, скапливающейся у поверхности [19].

В некоторых водоемах зафиксированы очень высокие концентрации БП. В частности, в Аргазинском водохранилище летом в 2008 г. содержание БП составляло 5,5 ПДК<sub>СанПинн</sub> (0,0299 мг/дм<sup>3</sup>). В сентябре содержание бенз(а)пирена в водохранилище уменьшилось до 4,1 ПДК<sub>СанПинн</sub> (0,0200 мг/дм<sup>3</sup>). В 2010 г. на том же водохранилище в осенней пробе был зафиксирован выброс БП, его концентрация в воде составила 23,0 ПДК<sub>СанПинн</sub> (0,115121 мг/дм<sup>3</sup>). Через три недели мы повторили отбор пробы с водохранилища, концентрация БП резко уменьшилась до 3,5 ПДК<sub>СанПинн</sub> (0,025010 мг/дм<sup>3</sup>). Медеплавильное предприятие «Карабашмедь» находится в 5 км от водохранилища (табл. 2), поэтому предположительно поступление БП в водоем происходит при атмосферном переносе.

Таблица 2

Содержание бенз(а)пирена в водах озер Южного Урала

№ п/п	Озера, водоемы	Кол-во проб	Расстояние от источников загрязнения, км	Концентрация бенз(а)пирена, в мг/дм <sup>3</sup>
1	Аракуль	6	18,3(ПУ)*; 0,1 (ЧС)	0,00380–0,00497
2	Аргазинское водохр.	7	5,4 (КМК); 0,1 (ЧС)	0,00912–0,11512
3	Большое Миассово	10	33,6 (КМК)	0,00002–0,00010
4	Большой Кисегач	5	46,7 (КМК); 0,1 (ЧС)	0,00184–0,00240
5	Большой Еланчик	3	64,6 (КМК)	0,00172–0,00310
6	Большой Ишкуль	4	20,2 (КМК)	0,00031–0,00412
7	В.-Иремельское водохр.	4	69,8 (КМК); 19,8 (ГМ)	0,00065–0,00471
8	Еловое	3	3,9 (ГЧ); 12,3 (ГМ); 51,6 (КМК)	0,00247–0,00260
9	Зюраткуль	2	19,5 (ГС); 24,7 (ГБ); 36,7 (ГЗ)	0,00015–0,00024
10	Кошкуль	6	3,7 (ТР)	0,00121–0,00220
11	Круглое	2	64,3 (ГЧ); 0,1 (ЧС)	0,00274–0,00282
12	Смолино	6	0,1 (ГЧЛ)	0,00397–0,24780
13	Сугояк	4	25,1 (ГЧЛ); 0,1 (ЧС)	0,00190–0,02907
14	Увильды	7	15,5 (КМК); 0,1 (ЧС)	0,00120–0,07540
15	Тургояк	8	33,8 (КМК); 4,0 (ГМ); 0,1 (ЧС)	0,00207–0,00450
16	Табанкуль	6	3,3 (ГЧ); 2,1 (Д)	0,00220–0,00674
17	Иткуль	4	20,2 (ПУ); 0,1 (ЧС)	0,00048–0,00509
18	Ильменское	8	1,9 (ГМ); 0,1 (Д); 0,02 (ЖД)	0,00210–0,06841
19	Малое Миассово	4	33,7 (КМК); 0,1 (ЧС)	0,00271–0,00286

*Примечание.*\* ПУ – предприятие Уфалейникель, КМК – предприятие Карабашмедь, ГМ – город Миасс, ГЧ – город Чебаркуль, ГС – город Сатка, ГБ – город Бакал, ГЧЛ – город Челябинск, ГЗ – город Златоуст, ТР – Тургоякское рудоуправление, ЧС – частный сектор, Д – автомобильная дорога, ЖД – железная дорога.

Бенз(а)пирен обнаруживается в водах некоторых озер в пределах нормативов, но его концентрация увеличивается в течение периода открытой воды. Например, озеро Кошкуль с низкой антропогенной нагрузкой летом содержит от 0,00121 мг/дм<sup>3</sup> (0,2 ПДК) БП, который увеличивается к осени до 0,00220 (0,4 ПДК). БП обнаруживается в водах озера Круглое летом – 0,00274 мг/дм<sup>3</sup> (0,5 ПДК) осенью концентрация достигает 0,00282 (0,6 ПДК). В озере Большой Кисегач в июле содержание БП составляло 0,00005 мг/л (0,01 ПДК), в октябре содержание увеличилось до 0,00414 мг/л (0,9 ПДК). В озере Еловое концентрация БП в июле – 0,00001 мг/л (менее 0,1 ПДК), в октябре – 0,00502 мг/л (1 ПДК). В озере Табанкуль летом БП – 0,0007 мг/л (0,2 ПДК), в октябре концентрация увеличивается до 0,00092 мг/л. В Иремельском водохранилище БП летом – 0,00265 мг/дм<sup>3</sup> (0,5 ПДК), осенью – 0,00471 (0,9 ПДК).

В некоторых озерах концентрация БП уменьшается с наступлением осеннего периода. Например: в августе в водах озера Увильды концентрация БП 0,6 ПДК, в октябре уменьшается до 0,3 ПДК, что объясняется изменением розы ветров в осенний период. Это доказывает, что загрязнение некоторых озер углеводородами происходит при атмосферном переносе [20].

На диаграмме рассеяния с доверительным интервалом (см. рисунок) точками показаны средние концентрации БП в южноуральских водоемах в зависимости от источников загрязнения. Доверительный интервал (ДИ) – интервал значений признака, рассчитанный с определенной вероятностью (95 % ДИ) включающий истинное значение этого параметра во всей выборке. Хотя множество точек не попало в ДИ, можно утверждать, что максимальные концентрации углеводородов находятся в 20–25-километровой зоне техногенного воздействия. Сложность в том, что мы с точностью не можем утверждать, какие антропогенные источники наиболее интенсивно загрязняют углеводородами водоемы.

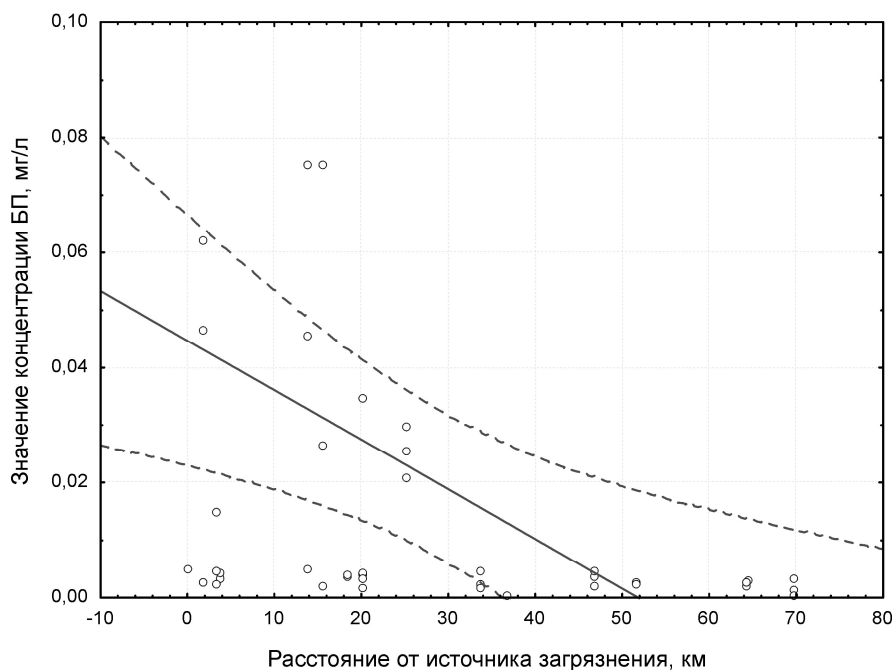


Диаграмма рассеяния концентрации бенз(а)пирена в водоемах от источников загрязнения

Источниками загрязнения водоемов являются практически все важнейшие отрасли промышленности и транспорт, поэтому повышенному риску загрязнения БП подвержены водоемы (колодцы и родники) расположенные в урбанизированных районах [8–10]. Но в водах подземных источников (шахтные, трубчатые колодцы, каптированные родники), используемых для питьевых и хозяйственных нужд при нецентрализованном водоснабжении в деревне Андреевка, вблизи города Карабаш, дер. Иткуль, дер. Сугояк и т. д., химический анализ на БП показал минимальную концентрацию (менее 0,1 ПДК<sub>СанПин</sub>). Это говорит о том, что растворимость БП в воде не очень высокая (0,11 мг/л при 25 °С), а при повышенной минерализации вод (оз. Сугояк, оз. Смолино, колодцы прилегающих территорий) ещё меньшая растворимость. Поэтому БП ассо-

цируется с гидрофобными соединениями и сорбируется в донных отложениях. Концентрация БП в воде может уменьшаться из-за наличия в ней химических окислителей и биоты [13].

### Заключение

Бенз(а)пирен обнаруживается во всех исследованных южноуральских озерах и водохранилищах в различных концентрациях от минимальных – 0,2 ПДК<sub>СанПин</sub> до 1–4 ПДК<sub>СанПин</sub>. На водоемах, расположенных вблизи мощных источников выбросов углеводородов, фиксируются максимальные концентрации БП до 23–50 ПДК<sub>СанПин</sub> (Аргазинское водохранилище, озеро Смолино).

Концентрация БП в водах сильно зависит от близости водоемов к промышленным центрам и объемам сжигания топлива, а также от интенсивности транспортного движения.

Вода подземных источников, используемых для питьевых и хозяйственных нужд при нецентрализованном водоснабжении, содержит минимальную концентрацию БП (менее 0,1 ПДК<sub>СанПин</sub>).

### Литература

1. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования // Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2003. – 94 с.
2. СанПин 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения / Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2002. – 84 с.
3. Киреев, Г.В. Содержание бенз(а)пирена в различных зонах мегаполиса / Г.В. Киреев, О.Ю. Баленков, Л.Н. Демина // Гигиена и санитария. – 2008. – № 3. – С. 6–7.
4. Загрязнение бассейна озера Байкал: полиароматические углеводороды / В.Б. Батоев, Л. Вайсфлог, К.Д. Венцель и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – Т. 11, № 6. – С. 837–842.
5. Шаповал, Е.В. Происхождение, содержание полициклических ароматических углеводородов в нефтепродуктах и оценка их воздействия на окружающую среду: дис. ... канд. хим. наук / Е.В. Шаповал. – Краснодар, 2014. – 102 с.
6. Загрязнение р. Амур полиароматическими углеводородами / Л.М. Кондратьева, Н.К. Фишер, О.Ю. Стукова, Г.Ф. Золотухина // Вестник ДВО РАН. – 2007. – № 4(134). – С. 17–26.
7. Немировская, И.А. Аليفатические и полиароматические углеводороды в донных осадках устьев взморья р. Волги / И.А. Немировская, В.Ф. Бреховских, В.Д. Казмирук // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 3. – С. 300–310.
8. Клюев, С.А. Бенз(а)пирен в морской воде и донных отложениях / С.А. Клюев // Вода: химия и экология. – 2013. – № 8 (62). – С. 98–103.
9. Бигалиев, А.Б. К вопросу о патогенном действии бенз(а)пирена, как загрязнителя окружающей среды / А.Б. Бигалиев, А.В. Синтюрина, З.М. Бияшева // Вестник Казахского национального университета. Серия экологическая. – 2009. – № 1(24). – С. 14–22.
10. Бенз(а)пирен в воде и донных отложениях Ангары, Байкала и их притоков / Л.И. Белых, Э.Э. Пензина, Л.Г. Попов и др. // Водные ресурсы. – 1997. – Вып. 24, № 6. – С. 734–739.
11. Шемагонова, Е.В. Выявление источников и факторов, определяющих содержание бенз(а)пирена в воде: дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Шемагонова. – Уфа, 2004. – 235 с.
12. Промышленные стоки как загрязнитель водоемов бенз(а)пиреном / Л.И. Белых, Э.Э. Пензина, Л.Г. Попов, Г.В. Ратовский // Природные ресурсы, экология и социальная среда Прибайкалья: сб. науч. тр. – Иркутск: Университеты России, 1995. – С. 198–203.
13. Галиулин, Р.В. Техногенное загрязнение водных экосистем бенз(а)пиреном / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина, Р.Р. Хоробрых // Вода: химия и экология. – 2015. – № 4. – С. 10–13.
14. Панина, М.В. Итоги исследований загрязнения тяжелыми металлами воды и донных отложений р. Миасс / М.В. Панина // Материалы конференции по итогам научно-исследо-

вательских работ аспирантов и соискателей ЧГПУ за 2004 год. – Челябинск: ЧГПУ, 2005. – С. 188–195.

15. Борщ, Н.А. Определение бенз(а)пирена методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Н.А. Борщ, С.В. Сидоренко // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 37–41.

16. Дмитриков, В.П. Анализ полициклических ароматических углеводородов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / В.П. Дмитриков, О.Г. Ларионов, В.М. Набивач // Успехи химии. – 1986. – Т. 2, № 4. – С. 679–700.

17. ГОСТ Р 513110–99. Вода питьевая. Метод определения бенз(а)пирена. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 10 с.

18. ПНД Ф 14.1:2:4.65-96. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций бенз(а)пирена в природной, питьевой и сточной воды с использованием анализатора жидкости «Флюорат–02» в качестве детектора к жидкостному хроматографу. – М.: Изд-во «Люмэкс», 1996. – 16 с.

19. Полициклические ароматические углеводороды в аквальных ландшафтах дельты реки Дон в зимний период / Т.С. Кошовский, О.В. Ткаченко, А.Н. Ткаченко и др. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». – 2017. – № 2 (194). – С. 118–204.

20. О разрушении микроорганизмами бенз(а)пирена в сточных водах / М.Н. Поглазова, А.Я. Хесина, Г.Е. Федосеева и др. // ДАН СССР. – 1972. – Вып. 204, № 1. – С. 222–225.

**Гаврилкина Светлана Викторовна** – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Ильменский государственный заповедник. 456317, г. Миасс, Челябинская область, территория Ильменский заповедник. E-mail: gidrosv@mail.ru

**Уржумова Анна Викторовна** – студент, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: anna.urzhumova7@yandex.ru

**Дьяченко Анна Витальевна** – студент, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: a.dyashenko@mail.ru

*Поступила в редакцию 27 мая 2018 г.*

DOI: 10.14529/chem180403

## BENZO(A)PYRENE IN THE LAKES OF THE SOUTHERN URALS

**S.V. Gavrilkina**<sup>1</sup>, gidrosv@mail.ru

**A.V. Urzhumova**<sup>2</sup>, anna.urzhumova7@yandex.ru

**A.V. Dyachenko**<sup>2</sup>, a.dyashenko@mail.ru

<sup>1</sup> Ilmen State Reserve, Miass, Russian Federation

<sup>2</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The study investigated pollution of the Southern Ural lakes by benzopyrene. The sampling covered seventeen morphometrically different lakes of Chelyabinsk region and two water-storage reservoirs. In order to monitor the benzopyrene content in lake water, the determination technique of mass concentration of this highly toxic carcinogen in the samples has been suggested, based on high performance liquid chromatography with a "Fluorate-02" liquid analyzer as a detector and a detachable device HPLC-3.

The technique in use was BP-M 01-21-2001 that included sample pretreatment, calibration of a liquid chromatograph and determination of benzopyrene based on its extraction from the water samples by n-hexane (methylene chloride). Identification of the benzopyrene peak on a chromatogram was carried out with the use of software package "MultiChrome". The quantitative de-

termination of benzopyrene in water samples required the chromatographic analysis of a calibration solution and a pretreated sample.

The study results were integrated into a summary table of benzopyrene content in the Southern Ural lakes which testified that benzo(a)pyrene was detected in all the investigated lakes and water-storage reservoirs in various concentrations, from the minimal of 0.2 TLV to 1–4 TLV. The scatter chart with confidence intervals showed that maximal hydrocarbon concentrations were in the 20–25 km zone of anthropogenic influence.

*Keywords:* benzo(a)pyrene, polycyclic hydrocarbon, chromatographic analysis, Southern Ural lakes, chemical water analysis.

### References

1. *GN 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya* [Hygienic Standards 2.1.5.1315-03. Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemicals in the Water of Water Bodies of Drinking and Cultural-Household Water Use]. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2003. 94 p.
2. *SanPin 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigienicheskie trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya* [Sanitary Epidemiological Station 2.1.4.1074-01. Drinking Water. Hygienic Requirements for Water Quality of Centralized Drinking Water Supply Systems. Quality Control. Hygienic Requirements for Ensuring the Safety of Hot Water Systems]. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2002. 84 p.
3. Kireev G.V., Balenkov O.Yu., Demina L.N. [The Content of Benz(a)pyrene in Different Zones of a Megapolis]. *Gigiyena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2008, no. 3, pp. 6–7. (in Russ.)
4. Batoyev V.B., Vaysflog L., Ventsel' K.D., Tsydenova O.V., Palitsyna S.S. [Pollution of the Baikal Basin: Polyaromatic Hydrocarbons]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2003, vol. 11, no. 6, pp. 837–842. (in Russ.)
5. Shapoval, E.V. *Proiskhozhdenie, sodержanie politsiklicheskikh aromaticheskikh uglevodorodov v nefteproduktakh i otsenka ikh vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu. Dis. kand. khim. nauk* [The Origin, the Content of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Petroleum Products and the Assessment of their Impact on the Environment. Diss. Kand. (Chem)]. Krasnodar, 2014. 102 p.
6. Kondrat'yeva L.M., Fisher N.K., Stukova O.Yu., Zolotukhina G.F. [Pollution of Cupid Polyaromatic Hydrocarbons]. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2007, no. 4 (134), pp. 17–26. (in Russ.)
7. Nemirovskaya I.A., Brekhovskikh V.F., Kazmiruk V.D. [Aliphatic and Polyaromatic Hydrocarbons in the Bottom Sediments of the Mouth Seashore of the r. Volga]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2006, vol. 33, no. 3, pp. 300–310. (in Russ.)
8. Kljuev, S.A. [Benz(a)pyrene in Sea Water and Bottom Sediments]. *Voda: khimiya i ehkologiya* [Water: Chemistry and Ecology], 2013, no. 8 (62), pp. 98–103. (in Russ.)
9. Bigaliev A.B., Sintyurina A.V., Biyasheva Z.M. [On the Issue of the Pathogenic Action of Benz(a)pyrene as an Environmental Contaminant]. *Bulletin of the Kazakh National University. Ser. Ecological*, 2009, no. 1 (24), pp. 14–22. (in Russ.)
10. Belykh L.I., Penzina E.E., Popov L.G., Bazhenov B.N., Khutoryansky V.A., Seryshev V.A. [Benz(a)pyrene in Water and Bottom Sediments of the Angara, Baikal and Their Tributaries]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 1997, vol. 24, no. 6, pp. 734–739. (in Russ.)
11. Shemagonova E.V. *Vyyavlenie istochnikov i faktorov, opredelyayushchikh sodержanie benz(a)pirena v vode. Dis. kand. tekhn. nauk* [Identification of Sources and Factors Determining the Content of Benzo(a)pyrene in Water. Diss. Kand. (Sci)]. Ufa, 2004. 235 p.
12. Belykh L.I., Penzina E.E., Popov L.G., Ratovsky G.V. [Industrial Effluents as a Pollutant of Water Bodies Benz(a)pyrene.] *Prirodnyye resursy, ekologiya i sotsial'naya sreda Pribaykal'ya: sb. nauch. tr.* [Natural Resources, Ecology and Social Environment Pribai-Kalya: Collected Papers]. Irkutsk, Universities of Russia, 1995, pp. 198–203. (in Russ.)
13. Galiulin R.V., Galiulina R.A., Horobryh R.R. [Technogenic Contamination of Aquatic Ecosystems with Benzo(a)pyrene]. *Voda: khimiya i ehkologiya* [Water: Chemistry and Ecology], 2015, no. 4, pp. 10–13. (in Russ.)



14. Panina M.V. [Results of Heavy Metal Contamination Studies of Water and Bottom Sediments. Miass]. Conference Materials on the Results of Research Work of Graduate Students and Applicants of CSPU for 2004, 2005, pp. 188–195. (in Russ.)
15. Borsch N.A., Sidorenko S.V. [Determination of Benzopyrene by High Performance Liquid Chromatography]. *Modern Trends in the Development of Science and Technology*, 2016, vol. 1, no. 2, pp. 37–41. (in Russ.)
16. Dmitrikov V.P., Larionov O.G., Nabivach V.M. [Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by High Performance Liquid Chromatography]. *Uspekhi khimii* [Advances in Chemistry], 1986, vol. 2, no. 4, pp. 679–700. (in Russ.)
17. GOST R 513110–99. *Voda pit'evaya. Metod opredeleniya benz(a)pirena* [State Standart PT 513110-99. Drinking Water. Method for the Determination of Benz(a)pyrene]. Moscow, Standartinform Publ., 1999. 10 p. (in Russ.)
18. PND F 14.1:2:4.65-96. *Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmeneniy massovykh kontsentratsiy benz(a)pirena v prirodnoy, pit'evoy i stochnoy vody s ispol'zovaniem analizatora zhidkosti «Flyuorat-02» v kachestve detektora k zhidkostnomu khromatografu* [NPND F 1: 2: 4.65–96. Quantitative Chemical Analysis of Waters. Method for Performing Measurements of Mass Concentrations of Benzo(a)pyrene in Natural, Drinking and Waste Water with the Use of a «Fluorat-02» Liquid Analyzer as a Detector for Liquid Chromatography]. Moscow, Lyumeks Publ., 1996. 16 p. (in Russ.)
19. Koshovsky T.S., Tkachenko O.V., Tkachenko A.N., Cibart A. S., Lychagin M. Y. [Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Aquatic Landscapes of the Don River Delta in Winter]. *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Ser. Natural Sciences*, 2017, no. 2 (194), pp. 118–204. (in Russ.)
20. Poglazova M.N., Ksenia A.Y., Fedoseeva G.E., Meysel M.N., Shabad L.M. [On the Destruction of Microorganisms Benz(a)pyrene in Wastewater]. *DAN SSSR* [DAN USSR], 1972, vol. 204, no. 1, pp. 222–225. (in Russ.)

Received 27 May 2018

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Гаврилкина, С.В. Бенз(а)пирен в озерах Южного Урала / С.В. Гаврилкина, А.В. Уржумова, А.В. Дьяченко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 25–33. DOI: 10.14529/chem180403

**FOR CITATION**

Gavrilkina S.V., Urzhumova A.V., Dyachenko A.V. Benzo(a)pyrene in the Lakes of the Southern Urals. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2018, vol. 10, no. 4, pp. 25–33. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem180403