

DOI: 10.17516/1998-2836-0171

УДК 543.38:543.51

## The Identification of Pollutants in the Ob River Near Oil Production Areas

**Irina V. Russkikh<sup>a\*</sup>,  
Olga V. Serebrennikova<sup>a</sup>, Eugenia B. Strelnikova<sup>a</sup>,  
Petr B. Kadychagov<sup>a</sup> and Alexey A. Ivanov<sup>b</sup>**

*<sup>a</sup>Institute of Petroleum Chemistry SB RAS  
Tomsk, Russian Federation*

*<sup>b</sup>National Research Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russian Federation*

Received 01.11.2019, received in revised form 05.11.2019, accepted 10.01.2020

---

*Abstract.* The composition of organic component of water and bottom sediments of Ob River in the area from the mouth of Tom River to the mouth of Irtysh river was studied by using GCMC. Oil and biogenic compounds were found. The maximum content of biogenic compounds was obtained in water near the Vasyugan River mouth, which is starting and flowing through the area of peat bogs propagation. The latitudinal waters of Ob River are enriched with typical oil compounds, such as hopanes, steranes, sec-hopanes, cheilanthanes, tetracyclic aromatic hydrocarbons, polymethyl substituted naphthalene and phenanthrene. The bottom sediments near the inflow of Tom River are enriched with polycyclic aromatic hydrocarbons. It was shown, that the occurrence of *n*-alkanes with dual nature cannot be an indicator of water bodies pollution with crude oil. In addition to this, the composition of aromatic hydrocarbons and cyclic isoprenoids may be used to differentiate the pollutant sources.

*Keywords:* bottom sediments, water, organic compound, *n*-alkanes, carboxylic acids, carboxylic acid esters, alcohols, ketones, diterpenoids, steroids, triterpenoids.

---

*Citation:* Russkikh I.V., Serebrennikova O.V., Strelnikova E.B., Kadychagov P.B., Ivanov A.A. The identification of pollutants in the Ob River near oil production areas, J. Sib. Fed. Univ. Chem., 2020, 13(2), 157-166. DOI: 10.17516/1998-2836-0171

---

---

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

\* Corresponding author E-mail address: rus@ipc.tsc.ru

## Идентификация загрязняющих компонентов в реке Оби в районах нефтедобычи

И.В. Русских<sup>а</sup>, О.В. Серебренникова<sup>а</sup>,  
Е.Б. Стрельникова<sup>а</sup>, П.Б. Кадычагов<sup>а</sup>, А.А. Иванов<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Институт химии нефти СО РАН

Российская Федерация, Томск

<sup>б</sup>Томский политехнический университет

Российская Федерация, Томск

*Аннотация.* Методом хромато-масс-спектрометрии исследован состав органического вещества вод и донных отложений р. Оби на участке от устья Томи до устья Иртыша. Выявлены нефтяные и биогенные соединения. Установлено, что максимальным содержанием биогенных соединений отличается вода вблизи устья р. Васюган, берущей начало и протекающей по территории распространения торфяных болот. Воды широтного течения р. Оби обогащены типичными для нефтей гопанами, стеранами, секогопанами, хейлантами, тетрациклическими ароматическими углеводородами, полиметилзамещенными нафталинами и фенантренами, а донные отложения вблизи впадения р. Томи – полициклическими ароматическими углеводородами. Показано, что содержание *n*-алканов, имеющих двойственную природу, не может служить показателем нефтяного загрязнения водоемов, а состав ароматических углеводородов и циклических изопреноидов позволяет различать источники поступления загрязнителей.

*Ключевые слова:* донные отложения, вода, органическое вещество, *n*-алканы, карбоновые кислоты, эфиры карбоновых кислот, спирты, кетоны, дитерпеноиды, стероиды, тритерпеноиды.

Цитирование: Русских, И.В. Идентификация загрязняющих компонентов в реке Оби в районах нефтедобычи / И.В. Русских, О.В. Серебренникова, Е.Б. Стрельникова, П.Б. Кадычагов, А.А. Иванов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия, 2020. 13(2). С. 157-166. DOI: 10.17516/1998-2836-0171

### Введение

Водные объекты в зонах повышенной антропогенной нагрузки подвержены различным видам загрязнений [1], включающих тяжелые металлы, полициклоароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы, диоксины и хлорорганические пестициды [2-6], нефть и продукты ее переработки [7-9]. Большое количество загрязняющих веществ со сточными водами в результате разливов нефти, муниципальных и промышленных сбросов, а также автомобильных отходов и выбросов автотранспорта из-за неполного сгорания ископаемого топлива переносятся речными водами через устья рек в море [10]. Нефтяные углеводороды являются одними из основных загрязнителей, которые поступают из петрогенных и пирогенных источников и сбрасываются в водоемы. Некоторые из этих веществ частично сорбируются осадком, способствующим очищению воды, но в результате они вызывают риск для бентиче-

ских организмов [11]. Непрерывное накопление загрязняющих веществ из-за биологических и геохимических механизмов может быть токсичным для рыб, что приводит к снижению их выживаемости и роста или ухудшению размножения и уменьшению видового разнообразия [12, 13].

Органическое вещество, поступающее в водоем извне и аккумулирующееся в донных отложениях (ДО), может дать важную информацию об источнике и уровне загрязнения водного объекта [14]. Аномально высокие концентрации органических соединений в ДО могут быть связаны не только с антропогенными нагрузками на водную экосистему, но также с природным фоном, содержащим органические компоненты. В связи с этим проводится поиск индикаторных элементов, отличающих загрязнители в процессе их миграции и/или накопления в ДО водоемов [1].

Самой протяженной рекой России признана Обь, которая течет с гор Алтая на север до Карского моря. В зоне среднего течения Оби расположены богатейшие месторождения нефти и газа, а города Нижневартовск, Сургут, Нефтеюганск и Ханты-Мансийск являются основными центрами добычи и транспортировки нефти и газа Западной Сибири. Южнее в нее впадает р. Томь, протекающая по Кузбассу с многочисленными металлургическими и химическими предприятиями, вода которой существенно загрязнена ПАУ [15]. Все это позволяет предположить наличие в водах среднего течения Оби многочисленных поллютантов.

В среднем течении Обь образует многочисленные рукава, заводи и протоки. Они питают торфяные болота, которые, в свою очередь, могут быть источником поступления биогенных углеводородов в речные воды. Об этом свидетельствует близость состава органических соединений в торфе и водной фазе [16].

Экологические исследования этого региона были сосредоточены на изучении химического и микробиологического состава воды Оби и ее притоков. При изучении микробиологического состава исследуемых водных потоков показано, что основными источниками их загрязнения являются населенные пункты [17, 18]. В то же время болотистость местности служит причиной значительной биогенной составляющей органического вещества (ОВ) в потоках и ДО, а также отвечает за большое разнообразие органотрофных микроорганизмов.

Данная работа направлена на изучение изменений компонентного состава органического вещества вод и ДО, отобранных вдоль среднего течения р. Оби от устья Томи до устья Иртыша. Здесь Обь протекает по территории распространения торфяных болот и на отдельных участках подвержена различной антропогенной нагрузке. Основной целью данной работы было выявление среди природных и антропогенных органических соединений, присутствующих в воде и ДО, специфических компонентов, отвечающих тому или иному источнику, и анализ пространственной распространенности этих соединений.

### Экспериментальная часть

Пробы воды и ДО были отобраны на р. Оби: возле с. Обское, ниже устья р. Васюган (1 км), в районе г. Сургута и ниже устья р. Иртыш. ДО после доставки в лабораторию высушивали. ОВ из водной фазы экстрагировали раствором 10%-ного гексана в хлороформе при комнатной температуре тремя порциями по 20 см<sup>3</sup>. Время экстракции 5 мин. Порции экстрактов объеди-

няли, высушивали над безводным  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и упаривали на ротаторном испарителе. ОВ из ДО экстрагировали парами 7%-ного раствора метанола в хлороформе.

Анализ состава и содержания групп и отдельных органических соединений в пробах воды и ДО проводили с использованием магнитного хромато-масс-спектрометра DFS фирмы «Thermo Scientific» (Германия). Разделение осуществляли на кварцевой капиллярной хроматографической колонке фирмы «Agilent» с внутренним диаметром 0.25 мм, длиной 30 м и неподвижной фазой DB-5MS толщиной 0.25 мм; газ-носитель – гелий. Исследуемые пробы ступенчато нагревали в токе гелия по температурной программе: на первой ступени при изотерме  $T = 80\text{ }^\circ\text{C}$  (2 мин), далее со скоростью  $3\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$  до  $300\text{ }^\circ\text{C}$  с последующей 30-минутной выдержкой при этой температуре. Масс-спектрометр: метод ионизации – электронный удар; энергия ионизирующих электронов 70 эВ; температура ионизационной камеры и интерфейса  $270\text{ }^\circ\text{C}$ .

Хроматограммы липидов получены с регистрацией полных масс-спектров соединений. Идентификацию индивидуальных органических соединений проводили компьютерным поиском в библиотеке Национального института стандартов NIST-05, по литературным данным, реконструкцией структур по характеру ионной фрагментации при электронном ударе и времени удерживания. Содержание компонентов определяли по площади соответствующих пиков на хроматограммах с использованием внутреннего стандарта (дейтероаценафтена  $\text{C}_{12}\text{D}_{10}$ ).

### Результаты и обсуждение

В составе аквабитумоидов – органических соединений, выделенных из вод, – идентифицированы ациклические и ароматические углеводороды (АУВ), кислородсодержащие органические соединения, представленные карбоновыми кислотами и их эфирами, альдегидами и кетонами, циклические биомолекулы (токоферолы, стероиды и пентациклические тритерпеноиды (ПЦТ)), нефтяные хейлантаны, стераны и гопаны (рис. 1А). ДО отличаются более широким набором органических соединений по сравнению с водой, в них, кроме идентифицированных в воде компонентов, присутствуют этиловые эфиры, кетоны, альдегиды, дибензофураны, а в составе циклических биомолекул, кроме стероидов и ПЦТ, идентифицированы трициклические терпеноиды (рис. 1Б).

В составе аквабитумоидов преобладают *n*-алканы, максимальная доля которых зафиксирована ниже впадения р. Иртыш (рис. 2А). В районе устья Васюгана, наряду с *n*-алканами, повышено содержание карбоновых кислот, возле г. Сургута – относительное содержание нефтяных цикланов. В составе ОВ ДО (рис. 2Б) также преобладают *n*-алканы, но доля кислот выше и в районе Васюгана даже превышает содержание *n*-алканов. В ДО участка вблизи с. Обское повышена доля АУВ и биологических молекул преимущественно стероидного и тритерпеноидного строения, а ниже впадения р. Иртыш – альдегидов. Присутствие *n*-алканов в природных объектах обычно связывают с продуцированием их биоорганизмами либо с привнесением из нефтяных систем, на что указывает характер молекулярно-массового распределения (ММР) этих соединений [19, 20]. Для живых организмов и современных осадков характерно преобладание гомологов с нечетным числом атомов углерода над четными в ММР, в нефтях и нефтепродуктах оно сглажено [21]. В данной работе во всех пробах воды ММР *n*-алканов носит одномодальный характер в области  $\text{C}_{20} - \text{C}_{35}$  с максимумом на  $\text{C}_{25}$ , особенно явно это прослеживается в пробе воды, отобранной ниже впадения р. Иртыш (рис. 2А).

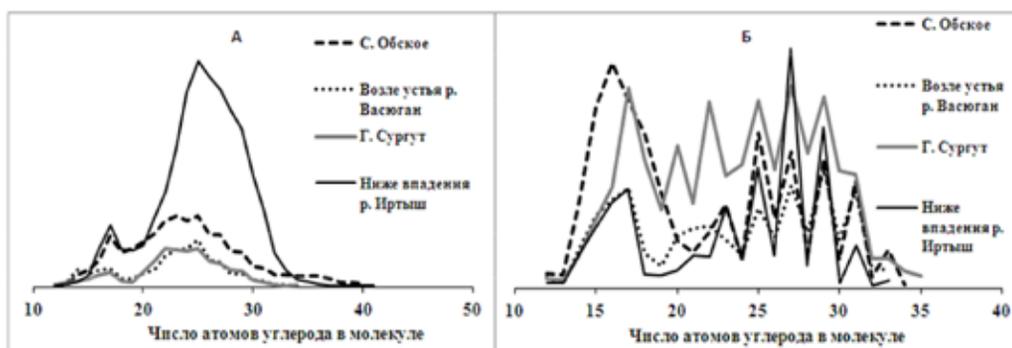


Рис. 1. Распределение органических компонентов в водах (А) и ДО (Б) р. Оби: НЦ – нефтяные цикланы (стераны, гопаны, хейлантаны); ЦБ – циклические биомолекулы; АУВ – ароматические углеводороды; АЛК – алканы; КК – карбоновые кислоты; МЭ – метиловые эфиры КК; ИПЭ – изопропиловые эфиры КК; ЭЭ – этиловые эфиры КК; КЕТ – кетоны; АЛД – альдегиды; ДБФ – дибензофураны

Fig. 1. Distribution of organic components in waters (A) and BSs (Б) of the Ob River: PC – petroleum cyclanes (steranes, hopanes, and cheilanthanes); CB – cyclic biomolecules; AHs – aromatic hydrocarbons; ALK – alkanes; CAs – carboxylic acids; ME – methyl esters of CAs; IPE – isopropyl esters of CAs; EE – ethyl esters of CAs; KET – ketones; ALD – aldehydes; DBF – dibenzofurans

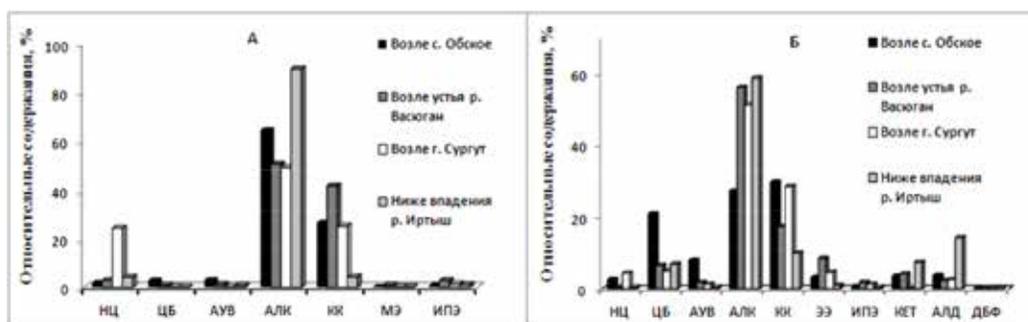


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение *n*-алканов в водах (А) и ДО (Б) р. Оби

Fig. 2. Molecular mass distribution of *n*-alkanes in waters (A) and BSs (Б) of the Ob River

Это свидетельствует о наличии в водах нефтепродуктов, что подтверждается значениями коэффициентов нечетности CPI (carbon preferences index – соотношение молекул с нечетным количеством атомов углерода к четным) – 1.03-1.16. Известно, что для нефтяных *n*-алканов CPI имеют значения, близкие к единице, в то время как для биогенных – могут достигать 6–10 [22].

Для *n*-алканов в ДО наблюдается более сложное ММР (рис. 3Б). В районе с. Обское и после впадения Иртыша видны две области – низкомолекулярная, отвечающая нефтяным дистиллятам, и высокомолекулярная с резким преобладанием биогенных «нечетных» гомологов C<sub>23</sub>-C<sub>31</sub> (CPI равен 2.63 и 5.18 соответственно). На участке после впадения р. Васюган распределение более сглажено (CPI = 1.75). В районе г. Сургута преобладание «нечетных» гомологов выражено еще слабее, что свидетельствует о наибольшем нефтяном загрязнении ДО на исследованном участке (CPI минимален и равен 1.39).

Все пробы характеризуются наличием би- и триароматических углеводородов (рис. 3), которые, как и *n*-алканы, характерны и для современных осадков, и для нефтяных систем [23, 24],

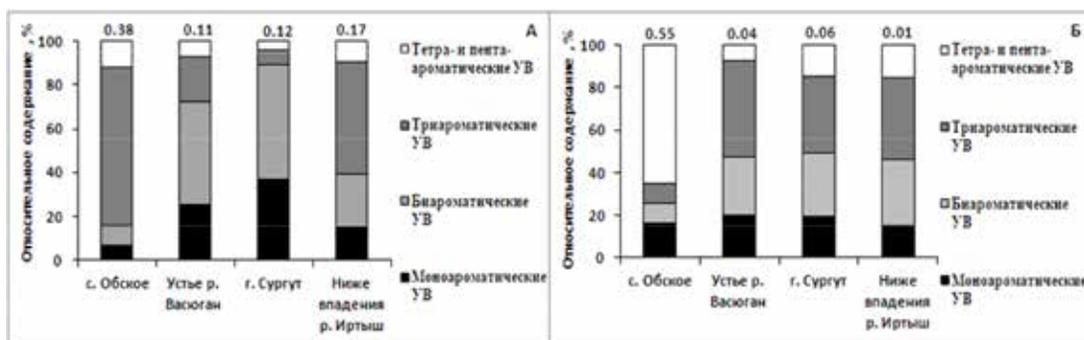


Рис. 3. Распределение ароматических углеводородов в водах (А) и ДО (Б) р. Оби. Цифрами показана суммарная концентрация АУВ в воде ( $\mu\text{г}/\text{дм}^3$ ) и ДО ( $\mu\text{г}/\text{г}$ )

Fig. 3. Distribution of aromatic hydrocarbons in waters (A) and BSs (Б) in the Ob River. The total concentration of AHs in water ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) and BSs ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) is shown in figures

изоалкилбензолов, так называемых линейных алкилбензолов, которые относят к продуктам деградации поверхностно-активных моющих веществ [25, 26], и тетрациклических флуорантена и пирена.

Пентациклические АУВ обнаружены в ДО около с. Обское и в следовых количествах ниже устья р. Иртыш. Около с. Обское зафиксировано максимальное количество АУВ с преобладанием в ДО пентациклических, среди которых доминируют бензфлуорантены и бензпирены, повышено содержание изоалкилбензолов, а в водах – трициклических структур с преобладанием метил- и диметилфенантронов. Ниже по течению, в районе устья р. Васюган, содержание АУВ резко снижается. Среди них в водах преобладают нафталины, в ДО – трициклические АУВ. Ниже этой точки до устья р. Иртыш наблюдается постепенное увеличение в водах суммарного содержания АУВ за счет возрастания в водах вблизи г. Сургута содержания бициклических АУВ с повышенной долей нафталина и его триметилзамещенных гомологов, ниже устья р. Иртыш – резкого увеличения концентрации метил- и диметилфенантронов. Максимальным содержанием АУВ в ДО этого участка отличается район вблизи г. Сургута. Здесь в водах обнаружены максимальные концентрации изоалкилбензолов и нафталинов.

В ряду карбоновых кислот ( $\text{C}_8\text{-C}_{20}$ ) и их этиловых эфиров ( $\text{C}_{12}\text{-C}_{32}$ ) в ДО р. Оби доминируют четные гомологи  $\text{C}_{14}\text{-C}_{18}$  и  $\text{C}_{16}\text{-C}_{26}$  соответственно, причем на долю пальмитиновой кислоты ( $\text{C}_{16}$ ) и этилпальмитата приходится до 50 % общего содержания этих классов соединений. Этиловых производных кислот в водах не обнаружено, присутствует лишь незначительное количество нечетных метиловых эфиров  $\text{C}_{13}\text{-C}_{19}$ , среди которых доминирует метилпальмитат.

Изопропиловые эфиры миристиновой и пальмитиновой кислот присутствуют в водах и ДО р. Оби, причем доминирование последнего более выражено в пробах воды. *n*-Алкан-2-оны  $\text{C}_{19}\text{-C}_{33}$  и *n*-альдегиды  $\text{C}_{21}\text{-C}_{30}$  с преобладанием нечетных  $\text{C}_{25}\text{-C}_{29}$  и четных  $\text{C}_{26}$ ,  $\text{C}_{28}$  гомологов соответственно характерны только для ДО и отсутствуют в пробах воды. Токоферолы присутствуют в ДО и водах в небольших или следовых количествах. В ДО реки обнаружен дибензофуран и его метилзамещенные гомологи, происхождение которых в осадках пока не ясно. Обычно они присутствуют в большинстве нефтей [27], но могут быть и продуктами преобразования фурановых структур, присутствующих в водных растениях [28].

Типичные для большинства нефтей гопаны  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ - $C_{33}$  с резким преобладанием гопана  $C_{30}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ) являются основными представителями нефтяных цикланов в воде из района с. Обское. Вблизи устья Васюгана возрастает относительное содержание гопана  $C_{29}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ), а в районе г. Сургута и в воде ниже по течению  $C_{30}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ) и  $C_{29}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ) наблюдаются в близкой концентрации, появляется бисноргопан  $C_{28}$ . В воде широтного течения Оби в невысоких концентрациях имеются  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ - $C_{31}$  секогопаны.

Нефтяные хейлантаны отсутствуют в воде вблизи с. Обское, за устьем р. Васюган они включают гомологи  $C_{23}$ ,  $C_{24}$ , а в районе г. Сургута и за устьем Иртыша – гомологи  $C_{21}$ - $C_{26}$ ,  $C_{28}$  и  $C_{29}$ , а также тетрациклический терпан  $C_{24}$ . Стераны, которых нет в воде из района с. Обское, в подчиненном количестве по сравнению с гопанами находятся в водах остальных участков. В составе стеранов идентифицированы изомеры гомологов  $C_{27}$ - $C_{29}$  регулярного и перегруппированного строения с преобладанием на юге изомеров регулярных стеранов  $C_{29}$ . Только вблизи г. Сургута и ниже по течению регулярные стераны  $C_{27}$ ,  $C_{28}$  и  $C_{29}$  содержатся в воде в близких концентрациях. В этих же водах обнаружены  $C_{26}$ - $C_{28}$  триароматические стераны.

Содержание нефтяных цикланов в ДО по сравнению с биомолекулами невелико. Единственными представителями нефтяных цикланов в ДО, отобранных за устьем Иртыша, являются гопаны  $C_{27}$  (Тм),  $C_{29}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ) и  $C_{30}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ). Гопаны  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ - $C_{32}$  с доминированием гопана  $C_{30}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ) преобладают в составе цикланов в ДО из районов с. Обское и устья Васюгана. ДО вблизи г. Сургута содержат больше стеранов, чем гопанов, а в составе гопанов в максимальной концентрации присутствует гопан  $C_{29}$  ( $17\alpha$ ,  $21\beta$ ). В составе стеранов в ДО из района с. Обское преобладают регулярные стераны  $C_{29}$ , устья Васюгана и г. Сургута –  $C_{27}$ . Повышенное относительное содержание перегруппированных стеранов при очень низком общем содержании стеранов зафиксировано в ДО вблизи устья Васюгана. Здесь же, а также вблизи г. Сургута в ДО обнаружены нефтяные хейлантаны, представленные гомологами  $C_{23}$  и  $C_{24}$ .

Относительное содержание органических соединений различного происхождения в водах и ДО р. Оби представлено на рис. 4.

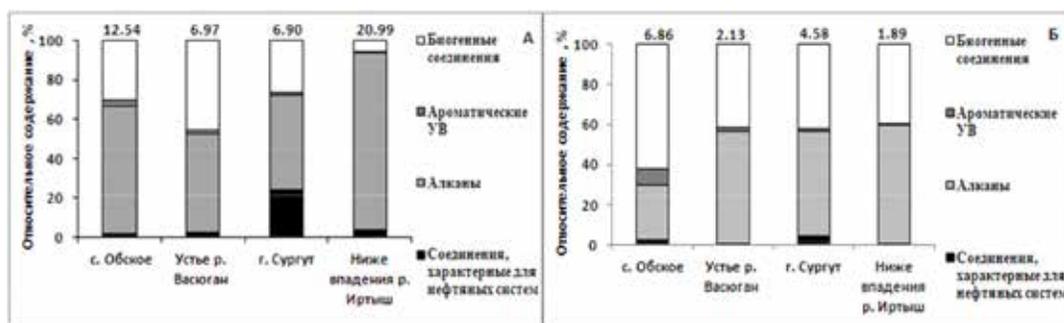


Рис. 4. Распределение групп органических соединений в водах (А) и ДО (Б) р. Оби. Цифрами показана концентрация суммы идентифицированных соединений в воде ( $\mu\text{г}/\text{дм}^3$ ) и ДО ( $\mu\text{г}/\text{г}$ )

Fig. 4. Distribution of groups of organic compounds in waters (A) and BSs (B) of the Ob River. The total concentration of identified compounds in waters ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ) and BSs ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) is shown in figures

### Заключение

В районе с. Обское, судя по составу АУВ, источником загрязнения ДО является р. Томь, ДО которой обогащены тетра- и пентациклическими АУВ [29]. Видимо, процесс постепенного переноса загрязнения с частичками осадков вниз по реке продолжается и после впадения ее в Обь. Отсутствие в воде и ДО легких нефтяных цикланов показывает, что источником нефтяных компонентов здесь может быть топочный мазут, используемый в судоходстве. Выше по течению в воде, как и ДО, суммарное содержание нефтяных цикланов падает, но в их составе появляются два гомолога хейлантанов, присутствуют стераны и гопаны. В целом нефтяные компоненты в районе устья Васюгана близки соединениям сырых нефтей ряда месторождений Томской области, т.е. именно они могли быть источником незначительного загрязнения этого участка. Повышенное загрязнение акватории р. Оби в районе наиболее интенсивной добычи нефти и газа (г. Сургут) может быть отнесено на счет разливов нефти, отличающейся по своему составу от обусловившей загрязнение на юге. Специфический состав гопанов (наличие бисноргопана), присутствие секогопанов и особенности молекулярно-массового распределения хейлантанов позволяют определить круг нефтей – вероятных источников загрязнения вод широтного отрезка течения Оби. Сходство состава цикланов, присутствующих в воде и ДО в районе г. Сургута и в воде участка, расположенного ниже по течению, указывает на единый источник нефтяного загрязнения воды широтного направления течения р. Оби, находящийся, вероятно, в районе г. Сургута.

### Благодарности / Acknowledgments

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (проект V.46.1.2), финансируемого министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

This work (research, scientific work) was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. V.46.1.2).

### Список литературы / References

1. Slukovskii Z.I. and Svetov S.A. Geochemical Indicators of Technogenic Pollution of Bottom Sediments of Small Rivers in an Urbanized Environment. *Geography and Natural Resources* 2016. Vol. 37(1), P. 32-38.
2. Szarek-Gwiazda E. Potential effect of pH on the leaching of heavy metals from sediments of the Carpathian dam reservoirs. *Geology, Geophysics & Environment* 2014. Vol. 40(4), P. 349-358.
3. Urbaniak M., Zieliński M. & Wagner I. Seasonal distribution of PCDDs/PCDFs in the small urban reservoirs. *International Journal of Environmental Research* 2015. Vol. 9(2), P. 745-752.
4. Mamontova E.A., Mamontov A.A. & Tarasova E.N. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in bottom sediments of the Irkutsk Reservoir. *Water Quality and Protection* 2016. Vol. 43 (2), P. 335-340.
5. Baran A., Tarnawski M. & Koniarz T. Spatial distribution of trace elements and ecotoxicity of bottom sediments in Rybnik reservoir, Silesian-Poland. *Environmental Science and Pollution Research* 2016. Vol. 23(17), P. 17255–17268.

6. Baran A., Tarnawski M., Urbański K., Klimkowicz-Pawlas A. & Spalek I. Concentration, sources and risk assessment of PAHs in bottom sediments. *Environmental Science and Pollution Research* 2017. Vol. 24(29), P. 23180–23195.

7. Kul'kov M.G., Zarov E.A., Filippov I.V. The choice of oil-pollution criteria for organogenic bottom sediments by chromatography-mass-spectrometry. *Water Resources* 2017. Vol. 44(2), P. 267-275.

8. Zhang Z.H., Liu Y., Zeng L., Fei J.J., Wan T.T. The effectiveness of geochemical parameters for polycyclic aromatic hydrocarbons source apportionment in topsoil. The 28th International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG 2017), Florence, Italy, 17-22 September, 2017. P. 50.

9. Russkikh I.V., Strelnikova E.B., Serebrennikova O.V., Elchaninova E.A. Bioorganic components and compounds of petroleum series in bottom sediments in lake Tus and lake Chyornoye (Khakassia). *Contemporary problems of ecology*. 2017. Vol. 10(2), P. 184-192.

10. Adeniji A.O., Okoh O.O. and Okoh A.I. Petroleum Hydrocarbon Fingerprints of Water and Sediment Samples of Buffalo River Estuary in the Eastern Cape Province, South Africa. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2017. Vol. 13. 2629365.

11. Bojakowska I. & Krasuska J. Copper and other trace elements in sediments of lake near Konin (Poland). *Journal of Elementology* 2014. Vol. 19 (1). P. 31-40.

12. Hafiz B.Z., Pandit A.K. and Shah J.A. Phytoplankton community of river Jehlum in Kashmir Himalaya. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2014. Vol. 7(6), P. 326-336.

13. Sharma R.C., Singh N. and Chauhan A. The influence of physico-chemical parameters on phytoplankton distribution in a head water stream of Garhwal Himalayas: a case study. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 2016. Vol. 42(1), P. 11-21.

14. Baran A., Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Szara M., Tarnawski M. The content and composition of organic matter in bottom sediments of the Rybnik reservoir – preliminary studies. *Geology, Geophysics and Environment*. 2018. Vol. 44(3), P. 309-317.

15. Русских И.В., Гулая Е.В., Кадычагов П.Б., Дучко М.А. Распределение органических соединений в поверхностных водах и донных отложениях р. Томь. *Вода: химия и экология* 2012. № 10, С. 21–27. [Russkikh I.V., Gulaya E.V., Kadychagov P.B., Duchko M.A. Distribution of organic compounds in surface waters and bottom sediments of the Tom River. *Water: chemistry and ecology*. 2012. No. 10, P. 21-27. (In Russ.)]

16. Naymushina O., Shvartsev S., Serebrennikova O., Ses K., Matveenko I. Spatial distribution of chemical and organic compounds in the water of oligotrophic peatland of Tomsk region (Western Siberia). *Procedia Chemistry*. 2014. Vol. 10, P. 541-546.

17. Savichev O.G., Tokarenko O.G., Pasechnik E.Yu., Nalivaiko N.G., Ivanova E.A. and Nadeina L.V. Microbiological composition of river waters in the Ob' basin (West Siberia) and its associations with hydrochemical indices. *IOP Conference Series: Earth and Environment Science* 2015. Vol. 27. 012035.

18. Savichev O.G., Matveenko I.S. and Paromov V. Chemical Composition of Bottom Sediments in Small Mountain Rivers (Altai, the Russian Federation). *MATEC Web of Conference* 2016. Vol. 85. 010.

19. Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*. 2000. Vol. 31, P. 745-749.

20. Pearson E.J., Farrimond P., Juggins S. Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: relationships with source inputs and environmental factors. *Organic Geochemistry*. 2007. Vol. 38, P. 1169-1195.
21. Hunt J.M. *Petroleum Geochemistry and Geology*. Freeman, San Francisco, 1979. 743 p.
22. Didyk B.M., Simoneit B.R.T., Pezoa L.A., Riveros M.L., Flores A.A. Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization. *Atmospheric Environment*. 2000. Vol. 34, P. 1167-1179.
23. Kate A., Yunker Mark B., Neil Dangerfield, Peter S. Ross. Sediment-associated aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal British Columbia, Canada: Concentrations, composition, and associated risks to protected sea otters. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159, P. 2665-2674.
24. Malawska M., Ekonomiuk A. and Wilkomirski B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in peat cores from southern Poland: distribution in stratigraphic profiles as an indicator of PAH sources. *Mires and Peat* 2006. Vol. 1, P. 1-14.
25. Zeng E.Y., Cheng D., Khan A.R., Vista C.L. Validity of using linear alkylbenzenes as markers of sewage contamination with interference from tetrapropylene-based alkylbenzenes. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1998. Vol. 17, P. 394-397.
26. Oberteganhouser R.P. and Pontolillo J. Susceptibility of Synthetic Long-Chain Alkylbenzenes to Degradation in Reducing Marine Sediments. *Environmental Science and Technology* 2008. Vol. 42, P. 6361-6368.
27. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. *The Biomarker Guide: Biomarkers and isotopes in the environment and human history*. Cambridge University Press 2005. Vol. 2, P. 1155.
28. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Гулая Е.В., Кадычагов П.Б., Прейс Ю.И., Дучко М.А. Особенности химического состава растений пресноводного карбонатного озера подтайги Западной Сибири. *Химия растительного сырья* 2014. № 3, С. 139-144. [Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Gulaya E.V., Kadychagov P.B., Preys Yu.I., Duchko M.A. The chemical composition of freshwater carbonated lake plants of Western Siberia sub-boreal forest *Chemistry of plant raw materials* 2014. No. 3, P. 139-144. (In Russ.)]
29. Русских И.В., Гулая Е.В., Кадычагов П.Б., Дучко М.А. Распределение органических соединений в поверхностных водах и донных отложениях р. Томь. *Вода: химия и экология*. 2012. № 10, С. 21-27. [Russkikh I.V., Gulaya E.V., Kadychagov P.B., Duchko M.A. Organic compounds distribution in surface waters and bottom sediments of the Tom' river. *Water: chemistry and ecology*. 2012. No. 10, P. 21-27. (In Russ.)]