

## ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 550.4:556.114:574(571.62)

### ОРГАНИЧЕСКИЕ И ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В ЭКОСИСТЕМАХ ОСТРОВА БОЛЬШОЙ ШАНТАР

С.И. Левшина<sup>1</sup>, О.Л. Ревуцкая<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000,  
e-mail: levshina@iver.as.khb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3748-1138>;

<sup>2</sup>Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,  
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,  
e-mail: oksana-rev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4148-282X>

*Дана характеристика органических (включая приоритетные полициклические ароматические углеводороды – ПАУ) и взвешенных веществ в поверхностных водах и снежном покрове о. Большой Шантар. Методом сухого сжигания (анализатор ТОС-ve) установлено повышенное содержание общего ( $C_{орг}$ ) и растворенного органического углерода в водотоках и низкое содержание  $C_{орг}$  в снеговых водах. Гравиметрическим методом определено невысокое содержание взвешенных веществ в депонирующих средах. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии показано, что концентрация  $\Sigma$ ПАУ в снеге, отобранном на о. Б. Шантар в мае 2017 г., достигала в среднем 23,64 нг/дм<sup>3</sup>, а в воде р. Оленьей летом 2018 г. содержание  $\Sigma$ ПАУ составляло 14,78 нг/дм<sup>3</sup>. Маркеры на основе соотношений индивидуальных ПАУ идентифицировали пирогенные и смешанные источники поступления полиаренов в депонирующие среды. Суммарный токсический бензо(а)пиреновый эквивалент в снеговых водах и воде р. Оленьей составлял 0,084 и 0,029 нг/дм<sup>3</sup> соответственно. Основной вклад в общую токсичность ПАУ в речной воде и снеговых водах вносят бенз(а)антрацен (41%), фенантрен (24%) и бензо(а)пирен (36%), бенз(а)антрацен (24%), фенантрен (19%) соответственно. Качество снега и речной воды, загрязненных полиаренами, на территории острова удовлетворительное. Рекомендуется продолжить, а также расширить мониторинг как природных сред (донные осадки, морские воды и др.), так и загрязняющих веществ (углеводороды, включая нефтепродукты, алифатические и ароматические соединения и др.) в целях комплексной оценки и прогнозирования изменения состояния окружающей среды под воздействием антропогенных факторов.*

**Ключевые слова:** поверхностные воды, снежный покров, органический углерод, полициклические ароматические углеводороды, взвешенные вещества, о. Большой Шантар.

**Образец цитирования:** Левшина С.И., Ревуцкая О.Л. Органические и взвешенные вещества в экосистемах острова Большой Шантар // Региональные проблемы. 2025. Т. 28, № 4. С. 44–52. DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-4-44-52.

#### Введение

Геохимические процессы экосистем острова Большой Шантар (Б. Шантар) (54°57' с.ш. и 137°43' в.д.), который входит в систему Шантарского архипелага, мало изучены в связи с его удаленностью и труднодоступностью. Остров Б. Шантар расположен в западной части Охотско-

го моря и среди Шантарских островов является самым крупным с площадью 1790 км<sup>2</sup> [9]. В связи со своей уникальностью Шантарские острова и прилегающая акватория Охотского моря в декабре 2013 г. получили статус национального парка. Несмотря на сложный (типично морской) климат, Шантары являются местом обитания огромного

количества животных, в том числе птиц [12], разнообразной и уникальной флоры [14], где удивительным образом переплетаются две природные зоны – тундра и тайга. Зима относительно мягкая, средняя температура самого холодного месяца (января) составляет  $-20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Снежный покров сохраняется с конца октября по конец мая (более 200 дней) [11]. Лето прохладное, с максимальными температурами в августе ( $+12,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Количество осадков варьирует от 600 до 800 мм. Реки и ключи на архипелаге носят горный характер.

В связи с недостаточной изученностью, климатическими особенностями и с учётом своеобразия и уникальности биоценозов основным экологическим условием деятельности человека на Шантарах должно быть соблюдение принципа минимизации аварийных загрязнений, в том числе проводимых в рамках крупномасштабных проектов Сахалин 1 и Сахалин 2. Поэтому при изучении антропогенного воздействия на природу Шантар важная роль отводится исследованию концентраций и распределения различных органических соединений, в частности полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые могут способствовать возникновению канцерогенных, мутагенных и прочих изменений в организмах [19]. ПАУ включены в список приоритетных загрязнителей Агентством по охране окружающей среды США (U.S. Environmental Protection Agency, USEPA) (16 соединений) [18]. Следует отметить, что содержание ПАУ в водных объектах законодательством Российской Федерации не регламентируется, за исключением бенз(а)пирена и нафталина. В питьевой воде предельно допустимые концентрации (ПДК) установлены на уровне 10 мкг/л для нафталина и 10 нг/л для бенз(а)пирена [13], в водоемах рыбохозяйственного назначения регламентируется только нафталин (4 мкг/л) [10]. Выделяют низкомолекулярные (легкие) 2-3-ядерные структуры ПАУ, 4-ядерные (средние) и высокомолекулярные (тяжелые) 5-6-ядерные структуры. С точки зрения генезиса все ПАУ условно подразделяются на петрогенные, преимущественно нефтяной природы (при отсутствии горения), и пирогенные, связанные с процессами горения (лесные пожары, автомобильные выхлопы и др.), а также биогенные (как результат механизмов биосинтеза растений, бактерий и аккумуляции аллохтонных ПАУ организмами) [17, 25]. В связи с повышенной токсичностью полиаренов одним из важнейших критериев их воздействия на окружающую среду является оценка суммарного токсического эквивалента (Toxic Equivalents, TEQs) [23].

Цель данного исследования состояла в оценке современного уровня и происхождения органических веществ (ОВ), включая полициклические углеводороды в снежном покрове и водотоках о. Б. Шантар.

#### Объекты и методы

Работы проводились в 2017–2018 гг. на о. Б. Шантар, станции отбора (поверхностные воды, снежный покров) представлены на рис. 1.

Концентрации ПАУ определяли параллельно с концентрациями взвешенных веществ (ВВ), общего органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ), а во ВВ – взвешенного органического углерода ( $C_{\text{в}}$ ). Снег, накопленный в 2016–2017 гг., отбирали во второй половине мая 2017 г. на площадке (станция) ( $54^{\circ}51'44.5''$  с.ш.,  $137^{\circ}30'05.6''$  в.д.) размером  $10 \times 10$  м в северно-восточной оконечности острова на всю глубину (80 см) его залегания. Интегральная проба снега состояла из 5 кернов. Для исключения загрязнения нижнюю (2 см) часть кернов отбрасывали. Отбор снега и его подготовка для дальнейшего анализа были проведены в соответствии с методикой, описанной в работе [20], в дальнейшем работали с водными образцами. Природные воды были отобраны летом 2018 г. в период средней водности преимущественно в нижнем течении рек Оленьей (станция № 1), Аргулад (№ 2), Тундровой (правый приток р. Оленьей) (№ 3) и руч. Безымянный (правый) (№ 4) по ГОСТ 17.1.5.05-85 (изд. 2001) [3]. В изучаемых образцах определяли следующие физико-хими-

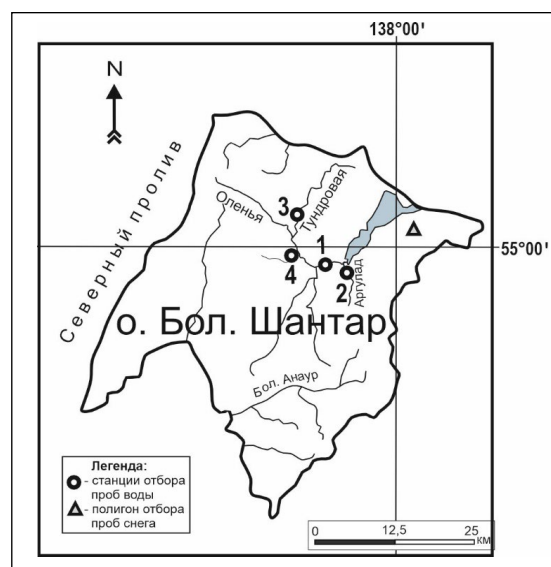


Рис 1. Карта-схема района исследования

Fig. 1. Map of the study area

ческие параметры: общий ( $C_{\text{орг}}$ ) и растворенный ( $C_p$ ) органический углерод из нефилтрованной и филтрованной (трековая мембрана с диаметром пор 0,45 мкм) воды под вакуумом по ГОСТ 52991-2008 (2009) [4] методом сухого сжигания на анализаторе TOC-ve (Shimadzu, Япония); взвешенный органический углерод ( $C_v$ ) – по И.В. Тюрину [1]; взвешенные вещества (ВВ) выделяли фильтрацией под вакуумом (0,45 мкм) гравиметрическим методом, рН среды и цветность воды (Цв) (по Ст-Со шкале цветности) – стандартными методами, принятыми в гидрохимии.

Водные образцы до анализа на ПАУ собирали в предварительно промытые бутылки из темного стекла и хранили в холодильной сумке при температуре 4–10 °С в течение 48 часов, а затем транспортировали для анализа в аналитическую лабораторию. Экстракцию ПАУ из раствора объемом 1000 мл проводили с использованием растворителя *n*-гексана ( $V = 25$  мл) в соответствии с методикой, описанной в работе [20]. Содержание и состав ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) с детекторами: спектрофлуориметрическим RF-20A и диодно-матричным SPD-M20A. Разделение образца проводилось на колонке для ВЭЖХ Supelco Discovery® HS C18.5 $\mu\text{m}$  (25 см x 4,6 мм) при температуре 40 °С, скорость потока 0,8 мл/мин, подвижная фаза ацетонитрил-вода в градиентном режиме разделения. В качестве стандарта использовали индивидуальные ПАУ и их смеси производства «Supelco». Ошибка метода не превышала 10%. Степень извлечения для контрольных стандартов и проб с добавками варьировалась от 80 до 110%. Анализ проводили в трех повторностях.

В водных образцах определяли индивидуальные ПАУ, рекомендованные USEPA [19]: нафталин (naphthalene, NaP), аценафтилен (acenaphthylene, Асу), аценафтен (acenaphthene, Асе), флуорен (fluorine, Flu), фенантрен (phenanthrene, Phe), антрацен (anthracene, Ant), флуорантен (fluoranthrene, Flt), пирен (pyrene, Pyr), бенз(а)антрацен (benz(a)anthracene, BaA), хризен (chrysene, Chr), бенз(б)флуорантен (benzo(b)fluoranthene, BbF), бенз(к)флуорантен (benzo(k)fluoranthene, BkF), бенз(а)пирен (benzo(a)pyrene, BaP), дибенз(а, h)антрацен (dibenz(a,h)anthracene, DbA), индено(1,2,3-с, d)пирен (indeno(1,2,3-cd)pyrene, IcdP), бензо(г, h, i)перилен (benzo(g,h,i)perylene, BghiP).

Токсическая эквивалентность смеси определяется суммой концентраций индивидуальных

соединений ( $C_i$ ), умноженной на TEF:  $TEQ = \sum(C_i \times TEF_i)$ , где значения  $TEF_i$  (по отношению к BaP) для индивидуальных соединений следующие: Phe (0,001), Ant (0,01), BaA (0,1), Flt (0,001), Pyr (0,001), Chr (0,01), BbF (0,1), BkF (0,1), BaP (1), DbA (5), BghiP (0,01), IcdP (0,1) [21].

Методы статистической обработки данных анализа были применены с использованием программного пакета Statistica версии 10. Вычислены коэффициенты корреляции ( $r$ ) на определенном уровне значимости ( $p \leq 0,05$ ).

### Результаты и обсуждения

Физико-химические параметры изучаемых водных объектов и снежного покрова о. Б. Шантар представлены в табл. 1.

Установлено, что поверхностные воды обладали повышенными концентрациями  $C_{\text{орг}}$ , которые варьировали в диапазоне: 9,4–12,7 мг С/дм<sup>3</sup> (среднее  $11,1 \pm 1,2$  мг С/дм<sup>3</sup>). В воде преобладали растворенные формы ОВ, что подтверждается высокими значениями  $C_p/C_v$  (9–49). Данные воды преимущественно кислые, высокоцветные (до 145 град), что связано с заболоченностью территории их водосборов. Вероятно, цветность обусловлена гумусовыми веществами, так как промышленные стоки отсутствуют, а невысокие температуры затрудняют развитие водорослей и фитопланктона, способных вызвать цветение вод. Стоит подчеркнуть, что в период исследования отсутствовали дожди, что исключает разбавление вод и снижение концентраций ОВ. Содержание ВВ в воде в целом невысокое и варьировало в диапазоне от 6,5 до 45,8 мг/дм<sup>3</sup> (среднее  $19,7 \pm 13,5$  мг/дм<sup>3</sup>). Выявлена положительная средняя корреляционная связь ( $r = 0,678$ ;  $p < 0,05$ ) между концентрацией  $C_v$  и ВВ. Предположительно, взвеси представлены минеральными компонентами и умеренно обогащены органической составляющей.

Концентрация  $C_{\text{орг}}$  в снеговых водах менялась в диапазоне 0,318–0,393 мг С/дм<sup>3</sup> (среднее  $0,364 \pm 0,040$  мг С/дм<sup>3</sup>). Для сравнения содержание  $C_{\text{орг}}$  в снеге, отобранном на льду губы Чупы (Кандалакшский залив, Белое море) весной 2004 г., варьировало от 283 до 424 мкг/дм<sup>3</sup> [7]. Стоит подчеркнуть, что полученные результаты являются низкими для Дальневосточного региона. В частности, в снеговых водах Большехецирского заповедника (2024 г.) концентрации  $C_{\text{орг}}$  менялись от 1,3 до 2,5 мг С/дм<sup>3</sup> (среднее  $2,0 \pm 0,6$  мг С/дм<sup>3</sup>), что связано как с локальными (местными) источниками поступления ОВ (печное отопление и др.), так и с трансграничным поступлением поллютантов в зимний период (в соответствии с розой ветров) из

Таблица 1

Физико-химические параметры поверхностных вод и снежного покрова (снеговые воды) о. Б. Шантар  
(здесь и в табл. 2 даны среднее  $\pm$  среднеквадратическое отклонение, n – количество проб)

Table 1

Physicochemical parameters of surface waters and snow cover (snowmelt waters) of the B. Shantar Island  
(here and in Table 2 the mean  $\pm$  standard deviation is given, n is the number of samples)

Место отбора (n)	рН	ВВ, мг/дм <sup>3</sup>	Цв, град	C <sub>орг</sub>	C <sub>р</sub>	C <sub>в</sub>	C <sub>р</sub> /C <sub>в</sub>
				мг С/дм <sup>3</sup>			
Поверхностные воды							
Р. Оленья (4)	$\frac{6,5 \pm 0,1}{6,5-6,6}$	$\frac{16,5 \pm 13,3}{7,1-25,9}$	$\frac{128 \pm 3}{125-130}$	$\frac{9,5 \pm 0,1}{9,4-9,6}$	$\frac{8,8 \pm 0,2}{8,6-8,9}$	$\frac{0,7 \pm 0,3}{0,5-1,0}$	$\frac{12 \pm 4}{9-17}$
Р. Аргулад (3)	$\frac{6,4 \pm 0,1}{6,3-6,5}$	$\frac{28,7 \pm 19,5}{11,6-45,8}$	$\frac{130 \pm 5}{125-135}$	$\frac{11,7 \pm 0,6}{11,0-12,3}$	$\frac{11,1 \pm 0,4}{10,7-11,4}$	$\frac{0,6 \pm 0,3}{0,3-1,0}$	$\frac{22 \pm 11}{11-36}$
Р. Тундровая (3)	$\frac{6,5 \pm 0,1}{6,5-6,6}$	$\frac{21,0 \pm 1,0}{20,0-22,0}$	$\frac{140 \pm 3}{140-145}$	$\frac{12,4 \pm 0,2}{12,2-12,6}$	$\frac{12,0 \pm 0,2}{11,9-12,2}$	$\frac{0,4 \pm 0,1}{0,3-0,4}$	$\frac{31 \pm 8}{24-39}$
Руч. Безымян- ный (правый) (3)	$\frac{6,6 \pm 0,1}{6,4-6,5}$	$\frac{6,7 \pm 0,3}{6,5-7,2}$	$\frac{135 \pm 2}{132-135}$	$\frac{10,6 \pm 0,5}{10,1-11,0}$	$\frac{10,3 \pm 0,4}{9,9-10,6}$	$\frac{0,3 \pm 0,1}{0,2-0,4}$	$\frac{37 \pm 12}{26-49}$
Снеговые воды							
Северо-вос- точная часть острова (про- ба интеграль- ная)	$\frac{5,5 \pm 0,1}{5,4-5,5}$	$\frac{8,1 \pm 1,5}{6,3-9,1}$	–	$\frac{0,364 \pm 0,040}{0,318-0,393}$	–	–	–

**Примечания:** прочерк означает отсутствие определения

Китая [5]. Количество взвеси в снежном покрове о. Б. Шантар невысокое и варьировало в диапазоне от 6,3 до 9,2 мг/дм<sup>3</sup>. Для сравнения, в снеге Большехецирского заповедника данный показатель был выше и превышал 20 мг/дм<sup>3</sup> [6].

Концентрации ПАУ и их встречаемость в воде р. Оленьей и снеговых водах о. Б. Шантар приведены в табл. 2. Результаты показали, что из 16 анализируемых ПАУ были определены 10 и 11 токсикантов соответственно. В снежном покрове не обнаружены NaP, Асу и Асе, что обусловлено их высокой летучестью. Суммарная концентрация 10 ПАУ ( $\Sigma 10$ ПАУ) в речной воде составляла 14,78 нг/дм<sup>3</sup> и была ниже показателей для р. Луань (Луаньхэ) (провинции Хэбэй, северный Китай), в которой содержание 16 ПАУ менялось от 37,3 до 234 нг/дм<sup>3</sup> (среднее 99,4 нг/дм<sup>3</sup>) [15]. Согласно нашим результатам, концентрация легких ПАУ (3-ядерные) составляла 83,2% в пробах речной воды, содержание 4-ядерных полиаренов заняло второе место с долей 16,5%, а высокомолекулярный 6-ядерный (BghiP) не превышал 0,3%.

Считается, что низкое содержание тяжелых ПАУ обусловлено их происхождением, преимущественно трансформацией ОВ в процессе почвообразования [2]. Однако, авторы [16] полагают, что источником происхождения ПАУ с 4–6 ядрами являются продукты горения твердого топлива. В нашем исследовании в речной воде среди мономеров ПАУ доминировал Phe (47% от  $\Sigma 10$ ПАУ), на втором месте был NaP (~ 19%). Данные полиарены встречаются в природе в составе ископаемого топлива. Кроме того, NaP обладает наибольшей растворимостью в воде среди 16 ПАУ [22].

Концентрация  $\Sigma 11$ ПАУ в снеговых водах о. Б. Шантар составляла 24,47 нг/дм<sup>3</sup> и была ниже по сравнению с результатами (43,61–65,30 нг/дм<sup>3</sup>), полученными для снежного покрова территории Большехецирского заповедника [5], а также для свежеснежного (168,1 нг/дм<sup>3</sup>) и фирнового (29,6–103,7 нг/дм<sup>3</sup>) снега Арктики [7]. Установлено, что в снеговой воде преобладали 3-ядерные полиарены (76,2% от  $\Sigma 11$ ПАУ), концентрация 4-ядерных ПАУ заняла второе место с долей 23,5%, а высокомо-

Таблица 2

Концентрация ПАУ в снежном покрове (снеговые воды) и воде р. Оленьей острова Б. Шантар, нг/дм<sup>3</sup>

Table 2

Concentrations of PAH in the B. Shantar Island snow cover (snowmelt) and the Olenya River water, ng/dm<sup>3</sup>

Соединения (ароматические кольца)	Снежный покров	Р. Оленья
NaP (2)	n.d.	2,83 ± 0,02
Acy (3)	n.d.	0,07 ± 0,01
Ace (3)	n.d.	0,18 ± 0,02
Flu (3)	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,01
Phe (3)	16,19 ± 0,28	7,00 ± 0,03
Ant (3)	1,68 ± 0,08	2,08 ± 0,04
Flt (4)	4,37 ± 0,28	1,07 ± 0,03
Pyr (4)	0,71 ± 0,06	1,03 ± 0,04
BaA (4)	0,20 ± 0,02	0,12 ± 0,02
Chr (4)	0,29 ± 0,01	0,23 ± 0,03
BbF (5)	n.d.	n.d.
BkF (5)	0,02 ± 0,01	n.d.
BaP (5)	0,03 ± 0,01	n.d.
DbA (5)	n.d.	n.d.
IcdP (6)	n.d.	n.d.
BghiP (6)	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,01
ΣPAHs	23,64	14,78

**Примечание:** n.d. – not detected (не детектировано)

лекулярные (BkF, BaP и BghiP) составляли всего 0,5%. При этом в общем составе ПАУ доминировали Phe (72,4%) и Flu (18,8%). Считается, что Phe образуется в процессе низкомолекулярной трансформации органических веществ. Стоит подчеркнуть, что наличие BaP в водах р. Оленьей не выявлено, а содержание NaP низкое (2,83 нг/дм<sup>3</sup>), что квалифицирует данные воды как незагрязненные нормируемыми ПАУ. Однако, в снежном покрове (снеговых водах) о. Б. Шантар определен BaP в низких (0,03 нг/дм<sup>3</sup>) концентрациях, что существенно ниже его нормативных показателей для поверхностных вод.

Как отмечено ранее, для идентификации источников ПАУ в изучаемых экосистемах был

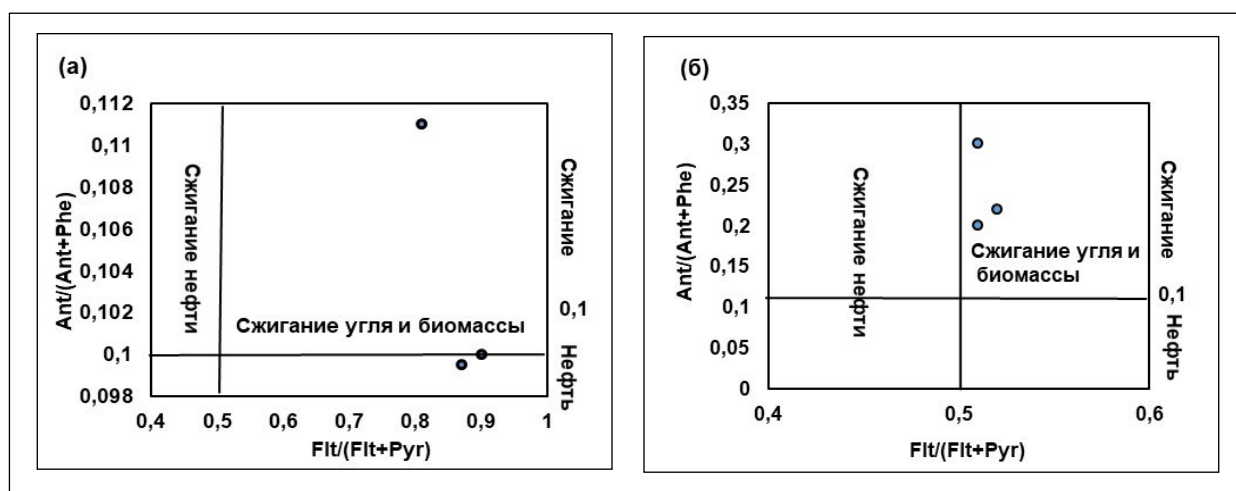
использован метод соотношений. Распространённые соотношения, такие как Ant/(Ant + Phe) и Flt/(Flt + Pyr), можно использовать для классификации происхождения загрязнения, а также для определения типа горючего материала [22]. В данном исследовании для оценки источников загрязнения депонирующих сред были применены отношения: Ant/(Ant + Phe) и Flt/(Flt + Pyr) (рис. 2).

Результаты показали, что для снежного покрова отношения Ant/(Ant + Phe) и Flt/(Flt + Pyr) находились в диапазонах 0,81–0,87 и 0,10–0,11 соответственно (рис. 2 а) и могут быть диагностированы как пирогенные / или смешанные источники (сжигание угля, древесины и др.). Отношение Ant/(Ant + Phe) < 0,1 обычно соответствует нефтепродуктам, тогда как соотношение > 0,1 соответствует горению [24]. Отношение Flt/(Flt + Pyr), равное 0,5, определяется как граница между нефтью и горением [24]. Для вод р. Оленьей отношения Ant/(Ant + Phe) и Flt/(Flt + Pyr) варьировали в диапазонах 0,2–0,3 и 0,50–0,52 (рис. 2 б), что также свидетельствует о смешанных пирогенных источниках.

Применение интегрального подхода при оценке загрязнения полиаренами депонирующих сред показало, что значение TEQs было крайне низким и составляло для р. Оленьей и снежного покрова о. Б. Шантар 0,029 и 0,085 нг/дм<sup>3</sup>, или 0,2 и 0,4% (от TEQs). В воде р. Оленьей он определялся преимущественно BaA (41%) и Phe (24%), а в снежном покрове – BaP (36%), BaA (24%) и Phe (19%). Следует отметить, что, несмотря на то, что тяжелые ПАУ преимущественно отсутствуют, однако даже низкие концентрации 3,4-ядерных полиаренов являются опасными для окружающей среды и биообъектов.

### Заключение

Таким образом, поверхностные воды и снежный покров (снеговые воды) о. Большой Шантар характеризуются значительными различиями по содержанию органических веществ. Для водотоков характерно повышенное количество общего и растворенного органического углерода, что обусловлено преимущественно заболоченностью территорий в низовьях водосборов, отсутствием разбавления атмосферными осадками и прогревом воды. Снеговые воды характеризуются низким содержанием общего органического углерода, что в целом ниже показателей для территории Большехецирского заповедника. При этом количество взвешенных веществ в депонирующих средах в целом невысокое для Дальневосточного региона. Поступление ПАУ в зимний период



**Рис. 2. Графики отношения точек на основе  $Flt/(Flt + Pyr)$  и  $Ant/(Ant + Phe)$  в снеговых водах (а) и р. Оленьей (б)**

**Fig. 2 Graphs of the points ratio, based on  $Flt/(Flt + Pyr)$  and  $Ant/(Ant + Phe)$  in snowmelt (a) and in the Olenya River water (b)**

на территорию о. Большой Шантар и летом в воды р. Оленьей в целом невелико в сравнении с Большехецирским заповедником. В то же время, несмотря на низкие концентрации полиаренов, стоит продолжать их мониторинг в связи с близостью Сахалинских месторождений. Необходимо расширить мониторинг как природных сред (донные осадки, морские воды и др.), так и загрязняющих веществ (углеводороды, включая нефтепродукты, алифатические и ароматические соединения и др.) в целях комплексной оценки и прогнозирования состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов.

Автор благодарит Г.М. Филиппову (ИВЭП ДВО РАН) за помощь в проведении анализов по определению ПАУ, В.А. Купцову (ИВЭП ДВО РАН) и сотрудников ФБГУ «Заповедное Приамурье» за помощь в отборе проб.

**Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России (проект № 121021500060-4). Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН, финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2025-621.**

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бельчикова Н.П. Определение гумуса почвы по методу И.В. Тюрина // Агрехимические ме-

тоды исследования почв / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. С. 56–62.

2. Василевич М.И., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Органическое вещество снежного покрова в зоне влияния выбросов целлюлозно-бумажного предприятия // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 2. С. 182–188.
3. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков // Государственный контроль качества воды: сборник. М.: Изд-во стандартов, 2001. С. 305–312.
4. ГОСТ 52991-2008 Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода. М.: Стандартинформ, 2009. 15 с.
5. Левшина С.И. Загрязнение снежного покрова территории Большехецирского государственного природного заповедника полициклическими ароматическими углеводородами // Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Хабаровск: Омега-Пресс, 2018. С. 227–231.
6. Левшина С.И. Органические и взвешенные вещества в снежном покрове заповедника «Большехецирский» (2023–2024 гг.) // Реги-

- оны нового освоения: поворот на «восток» и окружающая среда – грани взаимодействия: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2025. С. 58.
7. Немировская И.А. Углеводороды высоких широт Баренцева моря // *Геохимия*. 2001. № 9. С. 997–1005.
  8. Немировская И.А. Органические соединения в снежно-ледяном покрове Белого моря // *Доклады Академии наук*. 2008. Т. 418, № 5. С. 665–669.
  9. Нечаев А.П., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Шантарские острова // *Вопросы географии Дальнего Востока*. Хабаровск: Кн. изд-во, 1955. Сб. 2. С. 18–35.
  10. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного назначения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения. Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 (с изм. 2024 г.). М.: Кодекс, 216 с.
  11. Петров Е.С. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области / Е.С. Петров, П.В. Новороцкий, В.Т. Леншин. Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
  12. Пронкевич В.В., Росляков В.И., Воронов Б.А. Результаты учета редких и малоизученных птиц в Приамурье и Юго-Западном Приохотье в 2011 г. // *Амурский зоологический журнал*. 2011. Т. 3, № 4. С. 381–385.
  13. СанПиН 1.2.3685-21 Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования, обеспечивающие безопасность и (или) безвредность для человека факторов среды обитания. М.: Кодекс, 2021. 987 с.
  14. Шлотгауэр С.Д., Крюкова М.В. Растительный покров Шантарских островов // *География и природные ресурсы*. 2012. № 3. С. 110–114.
  15. Cao Z., Liu J., Luan Y. Distribution and ecosystem risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Luan River, China // *Ecotoxicology*. 2010. Vol. 19. P. 827–837.
  16. Hanedar A., Kadr A., Burcak K, Baek J., Avsar E., Odman, T.M. Concentrations and sources of PAHs at three stations in Istanbul, Turkey // *Atmospheric Research*. 2011. Vol. 99, Is. 3–4. P. 391–399.
  17. Inengite A.K., Oforka N.C., Osuji Leo C. Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Environment Urbanised by Crude Oil Exploration // *Environ Natural Resources Research*. 2012. Vol. 2, N 3. P. 62–70.
  18. Keith L.H. The source of US EPA's sixteen PAH priority pollutants // *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2015. Vol. 35, Is. 2–4. P. 147–160.
  19. Kim K.H., Jahan S.A., Kabir E., Braun R.J.C. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects // *Environment International*. 2013. Vol. 60. P. 71–80.
  20. Levshina S. Distribution and Characteristic of PAHs in snow of the Urban and Reserve Areas of Southern Far East Russia // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019. Vol. 102, Is. 2. P. 160–167.
  21. Nisbet I.C.T., LaGoy P.K. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // *Regulatory toxicology and Toxicol Pharmacology*. 1992. Vol. 16, N 3. P. 290–300.
  22. Tobiszewski M., Namiesnik J. PAH diagnostic ratio for the identification of pollution emission sources // *Environ. Pollut.* 2012. Vol. 162. P. 110–119.
  23. USEPA (US Environmental Protection Agency) Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1993. 20 p.
  24. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // *Organic Geochemistry*. 2002. Vol. 33. P. 489–515.
  25. Yunker M.B., Macdonald R.W. Alkane and PAH depositional history, sources and fluxes in sediments from Fraser River basin and Strait of Georgia, Canada // *Organic Geochemistry*. 2004. Vol. 34. P. 1429–145.
- REFERENCES:
1. Belchikova N.P. Determination of Soil Humus by the Method of I.V. Tyurin, in *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* (Agrochemical Methods of Soil Research), A.V. Sokolova, Ed. Moscow: Nauka Publ., 1975, pp. 56–62. (In Russ.).
  2. Vasilevich M.I., Gabov D.N., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M. Organic matter of snow cover in the zone of influence of emissions from a pulp and paper enterprise. *Water resources*, 2009, vol. 36, no. 2, pp. 182–188. (In Russ.).
  3. GOST 17.1.5.05-85 Environmental protection. Hydrosphere. General requirements for sampling surface and sea waters, ice and precipitation,

- in *Gosudarstvennyi kontrol' kachestva vody: sbornik* (State control of water quality: collection). Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2001, pp. 305–312. (In Russ.).
4. *GOST 52991-2008 Voda. Metody opredeleniya sodержaniya obshchego i rastvorennogo organicheskogo ugleroda* (Water. Methods for determination of total and dissolved organic carbon). Moscow: Standartinform Publ., 2009. 15 p. (In Russ.).
  5. Levshina S.I. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution in snow of the Bol'shekhekhtsirsky state nature reserve area, in *Prirodnye opasnosti, sovremennye ekologicheskie riski i ustoichivost' ekosistem: VII Druzhininskie chteniya: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (Natural hazards, modern environmental risks and ecosystem resilience: VII Druzhinin's Readings: the Scientific Conference Proceedings). Khabarovsk: Omega-Press Publ., 2018, pp. 227. (In Russ.).
  6. Levshina S.I. Organic and suspended matter in the snow cover of the Bolshekhekhtsirsky Nature Reserve (2023–2024), in *Regiony novogo osvoeniya: povorot na «vostok» i okruzhayushchaya sreda – grani vzaimodeistviya: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (Regions of new development: a turn to the «east» and the environment – facets of interaction: Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation). Khabarovsk: IVEP FEB RAS, 2025, pp. 58. (In Russ.).
  7. Nemirovskaya I.A. Hydrocarbons in the Northern Barents Sea. *Geokhimiya*, 2001, no. 9, pp. 997–1005. (In Russ.).
  8. Nemirovskaya I.A. Organic compounds in the snow-ice cover of the White Sea. *Doklady Akademii nauk*, 2008, vol. 418, no. 5, pp. 665–669. (In Russ.).
  9. Nechaev A.P., Novorotsky P.V., Lenshin V.T. Shantar Islands, in *Voprosy geografii Dal'nego Vostoka* (Questions of Geography of the Far East). Khabarovsk: Book publishing house, 1955, no. 2, pp. 18–35. (In Russ.).
  10. *Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo naznacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vode vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo naznacheniya* (On approval of water quality standards for water bodies used for fisheries, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the water of water bodies used for fisheries). Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016, no. 552 (as amended in 2024). Moscow: Kodeks Publ., 216 p. (In Russ.).
  11. Petrov E.S. *Klimat Khabarovskogo kraya i Evreiskoi avtonomnoi oblasti* (Climate of Khabarovsk Territory and Jewish Autonomous Region), E.S. Petrov, P.V. Novorotskii, V.T. Lenshin. Vladivostok-Khabarovsk: Dal'nauka Publ., 2000. 174 p. (In Russ.).
  12. Pronkevich V.V., Roslyakov V.I., Voronov B.A. Results of registration of rare and insufficiently studied birds in Priamurje and SouthWestern Priokhotje Region in 2011. *Amurskii zoologicheskii zhurnal*, 2011, vol. 3 (4), pp. 381–385. (In Russ.).
  13. *SanPiN 1.2.3685-21 Sanitarnye pravila i normy. Gigiyenicheskie normativy i trebovaniya, obespechivayushchie bezopasnost' i (ili) bezvrednost' dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya* (Sanitary Rules and Norms. Hygienic Standards and Requirements Ensuring the Safety and/or Harmlessness of Environmental Factors for Humans). Moscow: Kodeks Publ., 2021. 987 p. (In Russ.).
  14. Shlotgauer S.D., Kryukova M.V. Vegetation cover of the Shantar Islands. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2012, no. 3, pp. 110–114. (In Russ.).
  15. Cao Z., Liu J., Luan Y. Distribution and ecosystem risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Luan River, China. *Ecotoxicology*, 2010, vol. 19, pp. 827–837.
  16. Hanedar A., Kadr A., Burcak K., Baek J., Avsar E., Odman T.M. Concentrations and sources of PAHs at three stations in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Research*, 2011, vol. 99, no. 3–4, pp. 391–399.
  17. Inengite A.K., Oforka N.C., Osuji Leo C. Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Environment Urbanised by Crude Oil Exploration. *Environ Natural Resources Research*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 62–70.
  18. Keith L.H. The source of US EPA's sixteen PAH priority pollutants. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2015, vol. 35, no. 2–4, pp. 147–160.
  19. Kim K.H., Jahan S.A., Kabir E., Braun R.J.C. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environment Internation*, 2013, vol. 60, pp. 71–80.
  20. Levshina S. Distribution and Characteristic of PAHs in snow of the Urban and Reserve Areas of Southern Far East Russia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2019, vol. 102, no. 2, pp. 160–167.



21. Nisbet I.C.T., LaGoy P.K. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory toxicology and Toxicol Pharmacology*, 1992, vol. 16, no. 3, pp. 290–300.
22. Tobiszewski M., Namiesnik J. PAH diagnostic ratio for the identification of pollution emission sources. *Environ. Pollut.*, 2012, vol. 162, pp. 110–119.
23. USEPA (US Environmental Protection Agency) *Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1993. 20 p.
24. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry*, 2002, vol. 33, pp. 489–515.
25. Yunker M.B., Macdonald R.W. Alkane and PAH depositional history, sources and fluxes in sediments from Fraser River basin and Strait of Georgia, Canada. *Organic Geochemistry*, 2004, vol. 34, pp. 1429–145.

## ORGANIC AND SUSPENDED SUBSTANCES IN THE BOLSHOY SHANTAR ISLAND ECOSYSTEMS

S.I. Levshina, O.L. Revutskaya

*The organic matter characteristics (including priority polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) and suspended matter in the Bolshoy Shantar Island surface waters and snow cover are given in the paper. The dry combustion method (TOC-ve analyzer) has revealed elevated contents of total ( $C_{org}$ ) and dissolved organic carbon in watercourses, and low  $C_{org}$  contents in snowmelt waters. A low content of suspended solids in the depositing media has been determined using the gravimetric method. The high-performance liquid chromatography analysis shows that  $\Sigma 11$ PAHs concentration in the snow, collected on the Bolshoy Shantar Island in May 2017, reached on average 23.64 ng/dm<sup>3</sup>, while in the water of the Olenya River in summer 2018, the content of  $\Sigma 10$ PAHs was 14.78 ng/dm<sup>3</sup>. The markers, based on the ratios of individual PAHs, identified pyrogenic and mixed sources of polyarenes entering the depositing environments. The total toxic benzo(a)pyrene equivalent in snowmelt and in the Olenya River water was 0.084 and 0.029 ng/L, respectively. The main contributors to the total river water and snowmelt PAH toxicity are benzo(a)anthracene (41%), phenanthrene (24%), benzo(a)pyrene (36%), benzo(a)anthracene (24%), and phenanthrene (19%), respectively. The quality of snow and river water, contaminated with polyarenes on the island, is satisfactory. It is recommended to continue and expand monitoring of both natural environments (bottom sediments, sea waters, etc.) and pollutants (hydrocarbons, including petroleum products, aliphatic and aromatic compounds, etc.). They are in need of comprehensive assessment and their state forecasting, being under the influence of anthropogenic factors.*

**Keywords:** surface water, snow cover, organic carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons, suspended matter, Bolshoy (Big) Shantar Island.

**Reference:** Levshina S.I., Revutskaya O.L. Organic and suspended substances in the Bolshoy Shantar Island ecosystems. *Regional'nye problemy*, 2025, vol. 28, no. 4, pp. 44–52. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-4-44-52.

*Поступила в редакцию 31.10.2025*

*Принята к публикации 24.12.2025*