

## ХЛОРООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ДЕЛЬТОВОЙ ПРОТОКИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

© 2013 г. А. Ф. Троянская, И. А. Никитина, Е. А. Вахрамеева

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН*

*163000 Архангельск, наб. Северной Двины, 23*

*E-mail: labecoarh@ierp.ru*

Поступила в редакцию 07.02.2011 г.

Проведено исследование хлорорганических соединений в донных осадках дельтовой протоки Северной Двины. Приведены данные по содержанию и распределению органически связанного хлора. Показаны особенности формирования уровней и профилей хлорфенольных соединений в донных осадках под влиянием специфических первичных и вторичных источников, существующих на территории Архангельского промышленного узла.

*Ключевые слова:* органически связанный хлор, хлорированные фенольные соединения, донные осадки, дельта Северной Двины

DOI: 10.7868/S0321059613030085

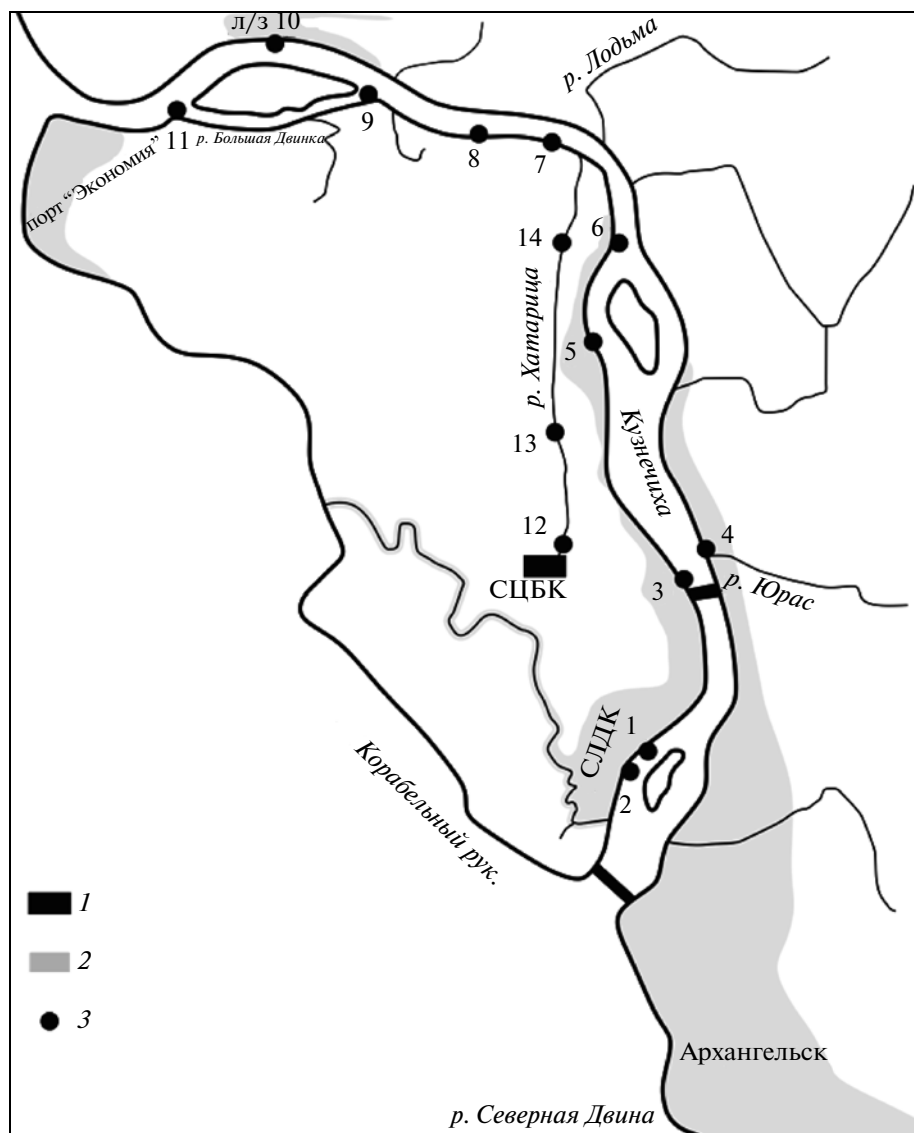
Устойчивые хлорорганические соединения (ХОС) чрезвычайно распространены в окружающей среде в связи с их промышленным производством, образованием при технологических процессах и хозяйственно-бытовой деятельности человека. Среди ХОС выделяются высоколипофильные токсичные хлорированные фенольные соединения (ХФС) – глобальные загрязняющие вещества (ЗВ) окружающей среды, образующиеся в результате синтеза и широкого использования хлорфенольных препаратов в качестве биоцидов, а также при производстве отбеленной хлором целлюлозы, при сжигании различного вида ископаемого топлива, биотоплива, бытовых промышленных отходов, при обеззараживании хлором сточных вод [11, 13, 18, 19] и пр. Свойства ионогенных ХФС, растворимость которых определяется значениями рН, а липофильность повышается с увеличением степени хлорирования, оказывают влияние на их сорбционную способность, перенос и биоаккумуляцию [17]. Характер источников, величина нагрузки, биодеградация, а также гидрологические характеристики водоемов влияют на формирование концентраций и поведение этих соединений в водных экосистемах.

Специфическим источником загрязнения по ХОС северных территорий с развитым лесопромышленным комплексом является применение в прошлом пентахлорфенолята натрия (ПХФН) для антисептирования пиломатериалов [6]. В Ар-

хангельской области большая часть лесопильно-деревообрабатывающих предприятий (ЛДК), применявших ПХФН, расположена на правом берегу устьевой области Северной Двины [20]. Отечественный препарат ПХФН в качестве основного вещества содержал пентахлорфенол (ПХФ), который отнесен к важнейшим региональным ЗВ водных экосистем [5, 6]. Концентрации ПХФ в почвах на территории лесозаводов спустя 15 лет после прекращения использования ПХФН достигали 650 мкг/г при фоновых значениях 0.2 мкг/г сухого вещества [5].

Сток Северной Двины в Белое море осуществляется через разветвленную сеть рукавов и проток в дельтовой части ее устья, которые находятся под влиянием как речных, так и морских вод за счет приливно-отливных явлений и ветровых нагонов. Особый интерес представляет протока Кузнечиха, которая расположена на восточной границе дельты (рис. 1) и начинается ответвлением от Корабельного рук. Кузнечиха отличается мелководностью, низкой пропускной способностью (<5% общего речного стока) [1] и находится под влиянием промышленно-хозяйственной деятельности близлежащих территорий, содержащих специфические источники загрязнения окружающей среды хлорорганическими соединениями.

Крупные точечные источники ХОС – сточные воды внеплощадочных очистных сооружений,



**Рис. 1.** Карта-схема расположения станций отбора проб ДО протоки Кузнечихи и руч. Хатарницы: 1 – внеплощадочные очистные сооружения СЦБК; 2 – населенные пункты; 3 – станции отбора проб ДО (1–14).

расположенных на территории Соломбальского целлюлозно-бумажного комбината (СЦБК). Хозяйственно-бытовые и ливневые стоки Архангельска подвергаются обеззараживанию молекулярным хлором и после смешения со сточными водами от производства небеленой целлюлозы поступают на биологическую очистку активным илом. Очищенные сточные воды сбрасываются в Кузнечиху через руч. Хатарницу, который под влиянием многолетнего сброса сточных вод превратился в техногенный канал. Производственные стоки СЦБК составляют 40% общего объема потока, поступающего на очистку.

Ко вторичным источникам загрязнения по ХОС вод протоки Кузнечихи относятся почвы, за-

грязненные по типу “горячих точек” остаточными количествами пентахлорфенолята натрия на промплощадках Соломбальского ЛДК (СЛДК), расположенного на левом берегу истока (на речном крае) Кузнечихи, и менее крупного лесозавода (л/з) на правом берегу ее устья [8].

Загрязнение по ХОС вод протоки Кузнечихи формируется также под влиянием неорганизованных сбросов ливневых вод, выбросов от наземного и водного транспорта. На берегах Кузнечихи находятся Архангельская ТЭЦ, крупные жилые микрорайоны, частные дома, дачные поселки, а в устье (на морском крае) – крупный морской порт “Экономия”.

В протоку Кузнечиху могут поступать загрязненные речные воды с верхнего отрезка Корабельного рук. С коренного правого берега в Кузнечиху впадает множество речек, загрязненных в результате хозяйственной деятельности. Совокупный сток боковых притоков Кузнечихи на 2–3 порядка превышает объем хлорированных сточных вод, поступающих в Кузнечиху с водами притока Хатарницы [3]. Таким образом, в Кузнечихе локализуются дельтовые воды, образующиеся за счет смешения речных вод Северной Двины, вод боковых притоков Кузнечихи и соленых вод Двинского зал. Белого моря.

Для оценки содержания ХОС рассматриваются неспецифический суммарный параметр – экстрагируемый органически связанный хлор (ЭОХ) и ХФС. ЭОХ отражает содержание высоколипофильных ( $\log_{10} K_{ow} > 3$ ) низкомолекулярных ХОС, способных проникать через клеточные мембраны и потенциально опасных для окружающей среды [12]. ЭОХ относится к экологическим параметрам и широко используется за рубежом для описания распределения ХОС в компонентах экосистем [14]. В качестве целевых ХФС рассматривались наиболее распространенные в окружающей среде хлорфенолы и их производные, характеризующиеся высокой липофильностью ( $\log_{10} K_{ow}$  – от 3.2 до 5.0) и токсичностью [17].

Цель данной работы – изучение особенностей формирования современных концентраций ХОС в донных отложениях (ДО) протоки Кузнечихи и их пространственного распределения под влиянием специфических первичных и вторичных источников загрязнения водной среды в условиях приливного устья Северной Двины.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пробы поверхностного слоя ДО протоки Кузнечихи отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5-01-80. В 2005 г. в конце летней межени при минимальных расходах воды было отобрано 11 проб. Географическое местоположение станций отбора проб фиксировалось с помощью GPS.

Гранулометрический состав ДО определяли методом непрерывного водно-механического анализа [4], органический углерод ( $C_{орг}$ ) – методом сухого сжигания на СНН-анализаторе “Hewlett-Packard”.

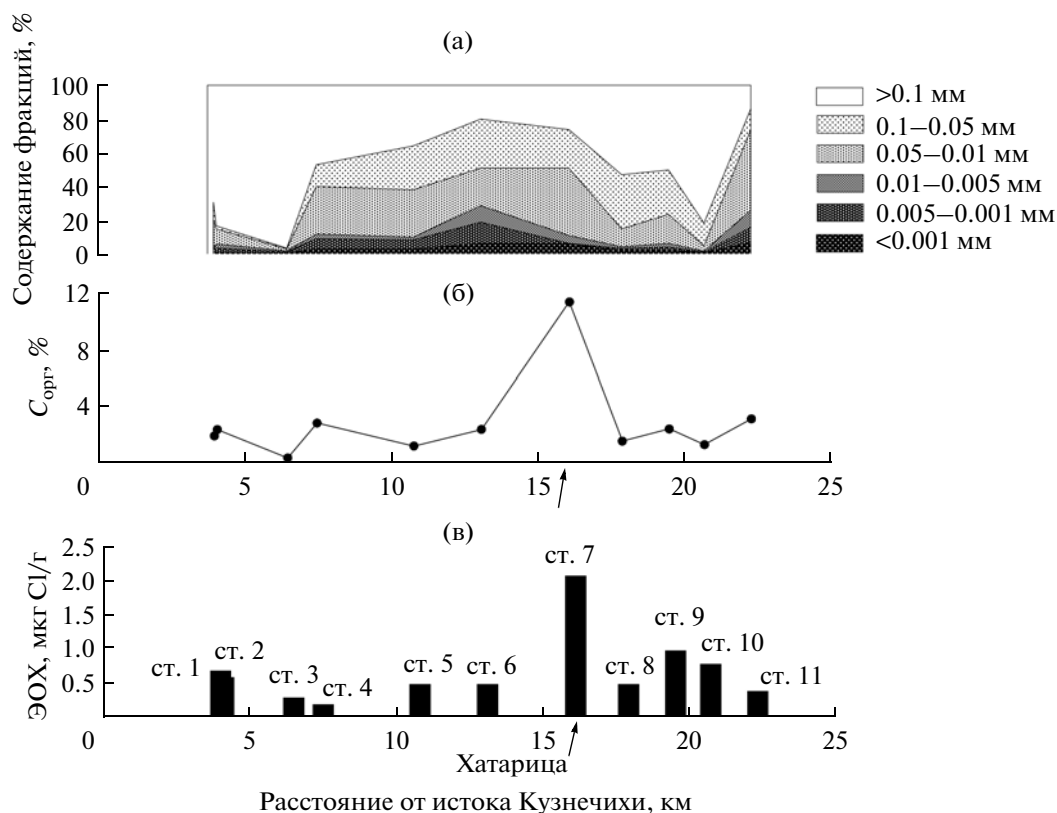
Извлечение ХОС из проб ДО проводилось методом проточной экстракции горячей смесью гексан–ацетон. В аликвоте экстракта определяли величину массовой концентрации ЭОХ на АОХ-анализаторе IDC (Германия) в соответствии с немецким стандартом DIN 38414, ч. 14. Для извлече-

ния ХФС экстракт и остаток после экстракции обрабатывали гидроксидом натрия. Выделенные ХФС дериватизировали уксусным ангидридом в слабощелочной среде. Полученные ацетильные производные анализировали на газовом хроматографе “Цвет-800” с детектором электронного захвата и капиллярной кварцевой колонкой с неподвижной неполярной фазой SE-30 [16]. Для идентификации и количественного определения хлорированных фенолов, катехолов и гваяколов использовали стандартные вещества “Helix Biotech” (Канада). Предел обнаружения ЭОХ – 0.1 мкг С1/г, ХФС – 0.001 мкг/г воздушносухого осадка.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пробы ДО на речном крае протоки Кузнечихи – песчано-алевритовые, а на участке протоки от устья р. Юрос (ст. 4) до входа в протоку Большую Двинку (ст. 9) – преимущественно алевритовые (от 41.0 до 62.8%) с содержанием пелитов до 28.6% (рис. 2). Максимальное содержание фракции с размером частиц  $< 0.001$  мм (от 6.1 до 6.2%) характерно для проб осадков, отобранных возле устья Хатарницы и на выходе из Большой Двинки (ст. 11). В большинстве проб концентрация  $C_{орг}$  варьировала в пределах 0.4–3.2% и только в одной пробе илистых осадков возле устья Хатарницы (ст. 7) достигала максимального значения – 11.4% (ст. 7). В пробах песчаных осадков, отобранных возле территорий лесозаводов, присутствовали щепка, полуразложившиеся древесные и растительные остатки. Отсутствие корреляционной зависимости, как прямой, так и обратной, между  $C_{орг}$  и отдельными фракциями подтверждает неоднородность проб осадков, отобранных в протоке Кузнечихе.

Концентрации ЭОХ в большинстве проб изменялись от 0.2 до 1.0 мкг С1/г, и лишь одна проба возле устья Хатарницы отличалась максимальным значением (2.1 мкг С1/г); (рис. 2в). Относительно высокие концентрации ЭОХ (0.6 и 0.7 мкг С1/г) найдены в ДО более нагруженного речного участка протоки Кузнечихи, в том числе и у территорий СЛДК (ст. 2). Повышенные концентрации ЭОХ определены в илистых осадках возле старого причала лесозавода на морском крае (0.8 мкг С1/г) и по левому берегу Кузнечихи (1.0 мкг С1/г), на мелководном заросшем растительностью участке на входе в Большую Двинку (ст. 9) с благоприятными условиями для осаждения и накопления ХОС в результате уменьшения скорости течения. Отсутствие корреляционной связи между ЭОХ и  $C_{орг}$  свидетельствует о многообразии источников, формирующих загрязнение ДО в протоке Кузне-



**Рис. 2.** Гранулометрический состав (а), содержание  $C_{орг}$  (б) и ЭОХ (в) в ДО протоки Кузнечихи (здесь и на рис. 3 стрелкой показано место впадения руч. Хатарица в Кузнечиху).

чихе, и состава ХОС фракции ЭОХ, различающихся по способности к деградации.

Общее содержание ХФС в осадках протоки Кузнечихи с величиной рН от 7.0 до 7.5 изменялось от 0.002 до 0.031 мкг/г, за исключением одной пробы возле устья Хатарицы, где были обнаружены максимальное содержание ХФС – 0.096 мкг/г, а также максимальные концентрации  $C_{орг}$  и ЭОХ (рис. 3а). В 2000 г. на этом участке концентрации ХФС составляли 0.106 мкг/г, что свидетельствует о наличии постоянно действующего источника поступления ХОС в Кузнечиху и о стабильности существующей нагрузки. По аналогии с ЭОХ относительно высокие концентрации ХФС (от 0.019 до 0.031 мкг/г) были определены на речном и морском крае протоки, возле территорий лесозаводов.

В осадках найдены как высоко-, так и низкозамещенные ХФС, распределение которых различалось на разных участках Кузнечихи (рис. 3). Так, вклад высокозамещенных (три- и выше) ХФС был стабильно высоким и составлял 60.0–90.3% в общем содержании ХФС на речном и морском краях Кузнечихи, а на участке протоки, ограниченном расстоянием 3 км выше и 3 км ни-

же устья Хатарицы, доминировали дихлорзамещенные ХФС (66.7–89.5%) при самом высоком значении вклада возле ее устья.

Концентрации пентахлорфенола в пробах осадков изменялись от 0.002 до 0.009 мкг/г с максимальным значением в одной пробе возле территории СЛДК (0.027 мкг/г) и повышенными значениями возле лесозавода на морском крае и возле устья Хатарицы. Как показано в таблице, ПХФ был единственным представителем высокозамещенных ХФС в осадках протоки Кузнечихи (за исключением трех проб из 11 отобранных), где были найдены менее хлорированные фенолы, гваяколы и катехол.

Наиболее широкий спектр высокозамещенных ХФС был обнаружен на участке возле устья Хатарицы (ст. 7). Кроме ПХФ, составляющего 52.9%, здесь были найдены 2,4,6-трихлорфенол, 2,4,5-трихлорфенол, 2,3,4,6-тетрахлорфенол, а также тетрахлоргваякол. Такое распределение ХФС могло быть обусловлено влиянием Хатарицы, принимающей хлорсодержащие биологически очищенные сточные воды. По результатам проведенного анализа очищенных сточных вод, средняя концентрация ХФС составляла 0.99 мкг/л при до-

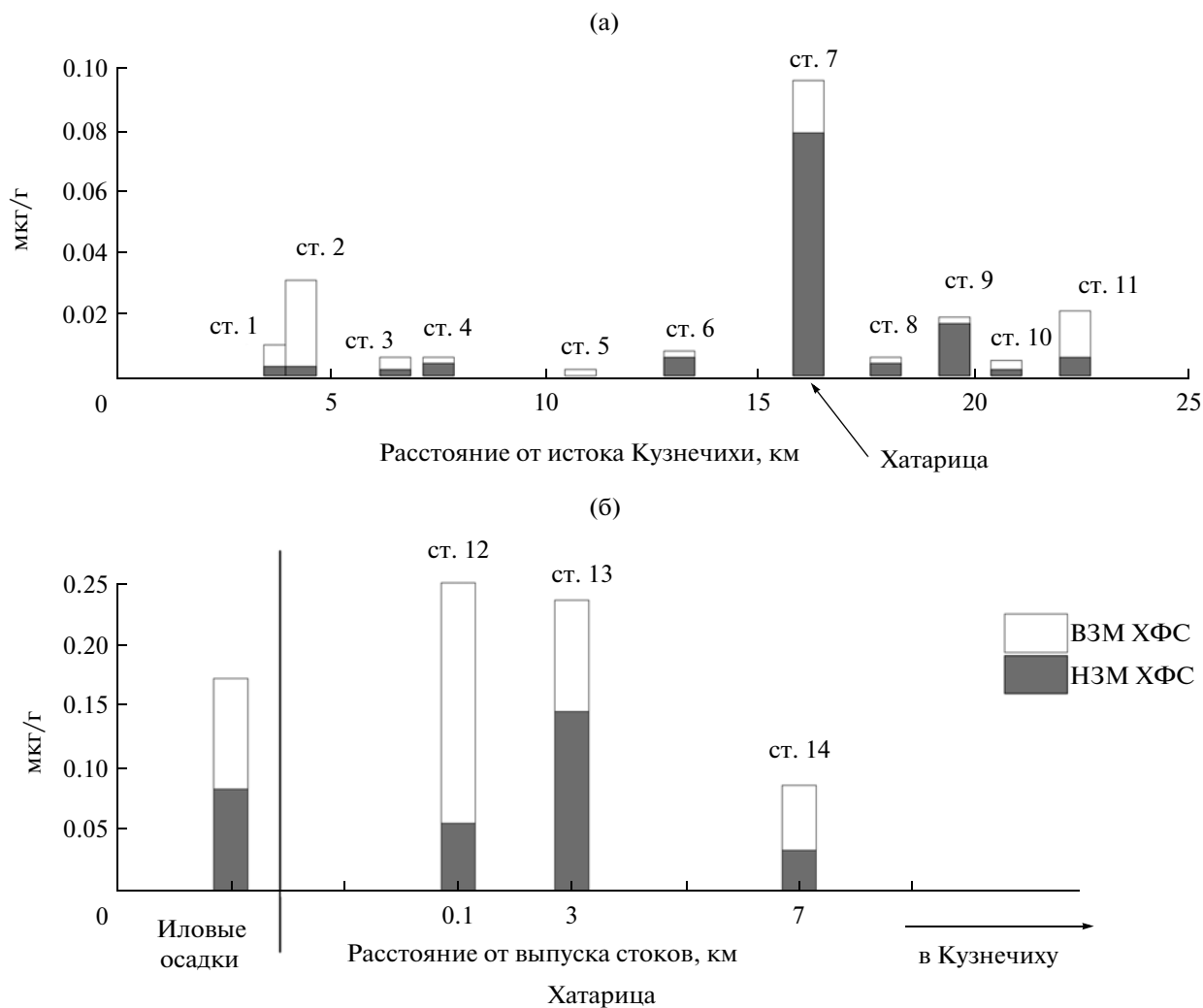


Рис. 3. Распределение высокозамещенных (ВЗМ) и низкозамещенных (НЗМ) ХФС: а – в ДО протоки Кузнечихи; б – в иловых осадках и ДО Хатарницы.

минировании высокозамещенных соединений (в среднем 91.6%). Основным компонентом ХФС в сточных водах был пентахлорфенол (75.0%) в сочетании с 2,4,6-трихлорфенолом и 2,6-дихлорфенолом. В иловых осадках от очистки сточных вод содержание ХФС составляло 0.173 мкг/г с доминирующим вкладом (60.0%) низкозамещенных соединений: 2,4- и 2,6-дихлорфенолов, 4,5-дихлоргваякола; но среди высокозамещенных ХФС преобладал пентахлорфенол при среднем вкладе 96.4% (таблица).

По результатам анализа проб ДО, отобранных в Хатарнице, оценены особенности формирования загрязнения водной среды по ХОС на пути транспорта биологически очищенных сточных вод в протоку Кузнечиху. В пробах ДО Хатарницы, отобранных на глубине 0.5 м, представленных черным техногенным илом с остатками волокна и дре-

весины, содержанием пелитовой фракции 12.8% и значениями рН 6.9–7.3, выявлены высокие концентрации  $C_{орг}$  (от 8.1 до 13.1%), а также ЭОХ (от 1.8 до 3.4 мкг С1/г) и высокозамещенных ХФС (от 0.053 до 0.196 мкг/г). Следует отметить, что максимальное количество ХФС, найденное на расстоянии 0.1 км от выпуска сточных вод (таблица), практически идентично максимальному содержанию высокозамещенных ХФС в ДО на приустьевом участке на левом берегу Северной Двины (0.130 мкг/г), которое формировалось в 2000 г. ниже выпуска сточных вод от производства белевой сульфатной целлюлозы с использованием молекулярного хлора на Архангельском ЦБК [7].

Профиль ХФС в осадках Хатарницы также характеризовался широким спектром соединений, среди которых низкозамещенные ХФС составляли 22.3–62.0%. На долю ПХФ приходилось в

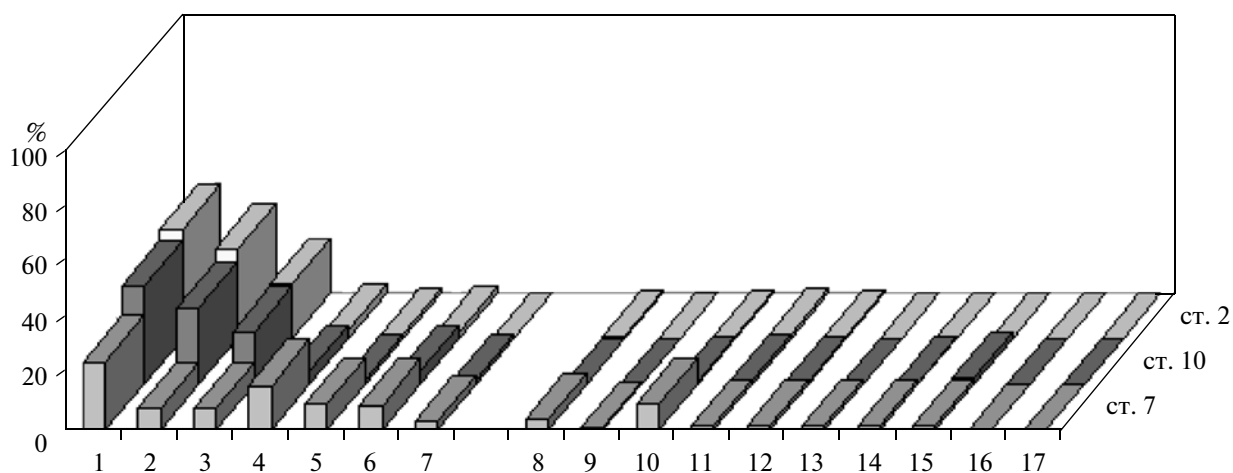
Высокозамещенные хлорфенольные соединения (ВЗМ ХФС) в техногенных и природных средах (точки отсчета: (1) – от выпуска стоков, (2) – от истока Кузнечихи; ПХФ – пентахлорфенол; ТХФ – трихлорфенол; ТеХФ – тетрахлорфенол; ТеХГ – тетрахлоргваякол; ТеХК – тетрахлоркатехол)

Объект	Расстояние от точки отсчета, км	№ станции отбора проб	Содержание ВЗМ ХФС, мкг/г	Профиль хлорфенольных соединений, в скобках – доля, %
Иловые осадки от очистки сточных вод ДО Хатарицы (1)	–	–	0.083	ПХФ (96.4) > 2,4,6-ТХФ (3.6)
	0.1	12	0.196	ПХФ (49.5) > ТеХК (9.2) > 2,3,4,6-ТеХФ (8.7) = 3,4,6-ТХГ (8.7) > 2,4,5-ТХФ (6.6) > ТеХГ (5.1) > 2,4,6-ТХФ (4.7) = 3,4,5-ТХГ (4.7) > 4,5,6-ТХГ (2.7)
	3.0	13	0.091	ПХФ (51.6) > 2,4,6-ТХФ (24.2) > 2,4,5-ТХФ (6.6) > 2,3,4,6-ТеХФ (5.5) = ТеХК (5.5) > 3,4,5-ТХГ (2.2) = 4,5,6-ТХГ (2.2) = ТеХГ (2.2)
ДО Кузнечихи (2)	7.0	14	0.053	ПХФ (66.0) > 2,4,6-ТХФ (18.9) > 2,3,4,6-ТеХФ (7.5) > 2,4,5-ТХФ (5.7) > ТеХГ (1.9)
	4.0	1	0.007	ПХФ (100)
	4.1	2	0.028	ПХФ (96.4) > 2,4,6-ТХФ (3.6)
	6.5	3	0.004	ПХФ (100)
	7.5	4	0.002	ПХФ (100)
	10.8	5	0.002	ПХФ (100)
	13.1	6	0.002	ПХФ (100)
	16.1	7	0.017	ПХФ (52.9) > 2,4,6-ТХФ (17.7) = 2,3,4,6-ТеХФ (17.7) > 2,4,5-ТХФ (5.9) = ТеХГ (5.9)
	17.9	8	0.002	ПХФ (100)
	19.5	9	0.002	ПХФ (100)
20.7	10	0.003	ПХФ (100)	
22.3	11	0.015	ПХФ (33.3) > 2,3,4,6-ТеХФ (20.0) = 3,4,5-ТХГ (20.0) = ТеХК (20.0) > ТеХГ (6.7)	

среднем 56.0% общего содержания высокозамещенных ХФС. Кроме других хлорфенолов (2,4,6-трихлорфенола, 2,4,5-трихлорфенола и 2,3,4,6-тетрахлорфенола), в осадках были обнаружены хлорированные гваяколы и катехол (таблица). Можно предполагать, что присутствие этих соединений в осадках Хатарицы обусловлено не только влиянием очищенных стоков, но и протеканием процессов биотрансформации ПХФ в ДО в результате восстановительного и окислительно-го дехлорирования [10].

Увеличение концентраций  $C_{орг}$ , ЭОХ и ХФС в протоке Кузнечихе возле устья Хатарицы, а также распространяющийся ниже профиль ХФС с доминирующим вкладом низкозамещенных соединений свидетельствуют о влиянии хлорированных городских стоков на формирование загрязнения ДО хлорорганическими соединениями в нижнем течении Кузнечихи.

Широкий спектр ХФС был обнаружен и на морском крае протоки Кузнечихи в пробе илистых осадков с высоким содержанием пелитов на гидрологически спокойном участке возле устья Большой Двинки (ст. 11). Здесь доминировали высокозамещенные ХФС (71.4%), среди которых ПХФ составляли 33.3%. Кроме ПХФ, были определены 2,3,4,6-тетрахлорфенол, трихлоргваяколы, тетрахлоргваякол и тетрахлоркатехол, а также 2,4-дихлорфенол, 2,6-дихлорфенол и 4,5-дихлоргваякол. Можно предположить, что присутствие этих соединений в осадках могло быть результатом осаждения взвеси из поверхностной воды под влиянием процессов, происходящих на границе река–море [1], а также результатом аэробного дехлорирования ПХФ на этом участке в условиях мелководья при уменьшении скорости течения Кузнечихи и улучшении аэрации осадков.



**Рис. 4.** Нормализованные изомер-специфические профили ПХДД и ПХДФ (в I-ТЕQ) в ДО протоки Кузнечихи: 1 – 2,3,7,8-тетрахлордibenзодииоксин; 2 – 1,2,3,7,8-пентахлордibenзодииоксин; 3 – 1,2,3,4,7,8-гексахлордibenзодииоксин; 4 – 1,2,3,6,7,8-гексахлордibenзодииоксин; 5 – 1,2,3,7,8,9-гексахлордibenзодииоксин; 6 – 1,2,3,4,6,7,8-гептахлордibenзодииоксин; 7 – октахлордibenзодииоксин; 8 – 2,3,7,8-тетрахлордibenзофуран; 9 – 1,2,3,7,8-пентахлордibenзофуран; 10 – 2,3,4,7,8-пентахлордibenзофуран; 11 – 1,2,3,4,7,8-гексахлордibenзофуран; 12 – 1,2,3,6,7,8-гексахлордibenзофуран; 13 – 2,3,4,6,7,8-гексахлордibenзофуран; 14 – 1,2,3,7,8,9-гексахлордibenзофуран; 15 – 1,2,3,4,6,7,8-гептахлордibenзофуран; 16 – 1,2,3,4,7,8,9-гептахлордibenзофуран; 17 – октахлордibenзофуран.

Для более полной идентификации источников загрязнения протоки Кузнечихи хлорфенолами некоторые пробы ДО были проанализированы на содержание полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД, ПХДФ) методом хромато-масс-спектрометрии (ПНД Ф 16.1.7-97) в аккредитованной лаборатории Института проблем экологии и эволюции РАН. Наибольшие количества ПХДД и ПХДФ были найдены в пробах, отобранных возле территории СДЛК (ст. 2) и лесозавода в устье Кузнечихи (ст. 10), и составили в токсическом эквиваленте (I-ТЕQ) 19.3 и 5.2 нг/кг воздушносухого вещества соответственно. Как показано на рис. 4, изомер-специфические конгенерные профили ПХДД и ПХДФ в пробах осадков возле этих предприятий близки между собой и отражают “след” диоксинсодержащего пентахлорфенолята натрия с доминирующим вкладом (90.6 и 81.6% соответственно) в суммарную эквивалентную токсичность ПХДД и ПХДФ трех конгенеров: 2,3,7,8-тетрахлордibenзодииоксина, 1,2,3,7,8-пентахлордibenзодииоксина и 1,2,3,4,7,8-гексахлордibenзодииоксина, характерных для диоксинсодержащего пентахлорфенолята натрия [6, 20]. Полученные результаты подтверждают, что на повышенное содержание ПХФ в ДО вблизи лесозаводов влияют территории этих предприятий, загрязненные остаточными количествами ПХФН по типу “горячих точек”.

В осадках возле устья Хатарицы (ст. 7) зарегистрирована более низкая концентрация ПХДД и ПХДФ, которая составила 1.39 нг I-ТЕQ/кг. В ис-

следованной пробе, в отличие от двух других, конгенерный профиль отражает аддитивность источников, связанных с применением ПХФН и с городскими сточными водами, являющимися заметным и распространенным источником ПХДД и ПХДФ [9]. При меньшем вкладе ПХДД в суммарную токсичность (78.6%) преобладали 2,3,7,8-тетрахлордibenзодииоксин (24.8%) и 1,2,3,6,7,8-гексахлордibenзодииоксин (16.1%), а вклад характерного для процессов сжигания 2,3,4,7,8-пентахлордibenзофурана в суммарную токсичность составлял 9.9% [15].

## ВЫВОДЫ

Пентахлорфенол – доминирующий среди высокозамещенных ХФС в ДО протоки Кузнечихи, его распространение в условиях приливного устья Северной Двины обусловлено влиянием преимущественно вторичных источников – остаточных количеств пентахлорфенола в почвах лесозаводов, а также выбросов/сбросов от промышленно-хозяйственных объектов в ее прибрежной зоне.

Значимыми, постоянно действующими источниками загрязнения протоки Кузнечихи высоколипофильными хлорорганическими соединениями являются хлорированные очищенные муниципальные сточные воды, транспортируемые по Хатарице, играющей роль промежуточного резервуара, где происходит накопление ЭОХ и ХФС, а также продуктов их трансформации.

Присутствие хлорированных гваяколов и катехола в исследованных ДО свидетельствует о наличии условий для развития процессов биодegradации ПХФ в осадках бассейна Кузнечихи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрология устьевой области Северной Двины. М.: Гидрометеиздат, 1965. 376 с.
2. Лисицин А.П. Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Науч. мир, 2001. С. 31–74.
3. Мискевич И.В. Оценка влияния сброса сточных вод Соломбальского ЦБК на водоснабжение г. Архангельска и других населенных пунктов. Архангельск, 2008. 67 с.
4. Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука, 1967. 124 с.
5. Троянская А.Ф., Мосеева Д.П., Рубцова Н.А. Экологические последствия применения пентахлорфенолата натрия на деревообрабатывающих предприятиях Архангельской области // Диоксины-суперэтоксиканты XXI века. М.: ВИНТИ, 1998. № 3. С. 1–9.
6. Троянская А.Ф., Мосеева Д.П., Рубцова Н.А. Содержание токсичных примесей в промышленных полихлорфенольных препаратах // Химия в интересах устойчивого развития. 2004. № 12. С. 225–231.
7. Троянская А.Ф., Рубцова Н.А., Белоглазов В.И., Соболева Т.В. Экологические аспекты бесхлорной отбелилки целлюлозы. Ч. III // Целлюлоза, бумага, картон. 2006. № 1. С. 68–74.
8. Троянская А.Ф., Мосеева Д.П., Рубцова Н.А. Загрязнение почв лесозэкспортных предприятий пентахлорфенолом // Лесной журн. 1998. № 2–3. С. 143–153.
9. Biosolids Applied to Land: Standards and Practices. Washington, DC: National Academy Press, 2002. 264 p.
10. Field G.A., Sierra-Alvarez Et.R. Biodegradability of chlorinated aromatic compounds // Euro Chlor: University of Arizona. 2004. www.Eurochlor.org
11. Fleming B.I. Organochlorines in perspective // Tappy J. 1995. V. 78. № 5. P. 93–98.
12. Graig G.R., Orr P.R., Robertson J.L. et al. Toxicity and bioaccumulation of AOX and EOX // Pulp and Paper Can. 1990. № 3. P. 39–40.
13. Gunnarsson M., Gonczi M., Johansson N. Identification and quantification of sources to PCDD, PCDF, PCN and HCB in Sweden // Organohalogen Compounds. 2005. V. 67. P. 1319–1322.
14. Kankaarppa H.T., Lauren M. Distribution of halogenated organic material in sediments from anthropogenic and natural sources in the Gulf of Finland Catchment area // Environ. Sci. Technol. 1997. V. 31. № 1. P. 96–104.
15. Kjeller O., Rappe C. Time trends in levels, patterns and profiles for polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in a sediment core from the Baltic proper // Environ. Sci. Technol. 1995. V. 29. P. 346–355.
16. Lyytikainen M. Transport, bioavailability and effects of Ky-5 and CCA wood preservative components in aquatic environment // PhD Dissertations in Biology. University of Joensuu (Finland). 2004. 102 p.
17. Muir D.C.G., Norstrom R.J. Persistent organic contaminants in arctic marine and fresh water ecosystem // Arctic Res. VS. 1994. V. 8. P. 138–146.
18. Olofsson U., Haglund P. Screening of persistent organic pollutants in sludge from sewage treatment plants in Sweden // Organohalogen Compounds. 2006. V. 68. P. 1095–1098.
19. Paasivirta J., Hakala H., Knuutinen J. et al. Organic chlorine compounds in lake sediments. III // Chemosphere. 1990. V. 21. № 12. P. 1355–1370.
20. Troyanskaya A., Rubtsova N., Moseeva D., Punantseva E. Contamination of natural matrixes with persistent organic pollutants a result of wood treatment in the northern regions of Russia // Organohalogen Compounds. 2003. V. 62. P. 61–64.