ГЛАВА 7

БИОТРАНСПОРТ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ (СОЗ) ТИХООКЕАНСКИМИ ЛОСОСЯМИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

*В.Ю. Цыганков^{1,2}, М.М. Донец¹, А.Н. Гумовский¹,
Н.К. Христофорова²*

Наряду с атмосферным переносом в Мировом океане определенное значение имеет биотранспорт СОЗ морскими организмами, совершающими длительные миграции. В первую очередь это лососевые рыбы, количество которых в субарктическом регионе Тихого океана в последнее десятилетие достигает 1,5 млн т. Лососи, погибающие после нереста в реках и озерах, оставляют на нерестилищах загрязняющие вещества, общий объем

¹ Школа биомедицины, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. E-mail: tsig_90@mail.ru.

² Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

¹ School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island Vladivostok, Russia, 690922. E-mail: tsig_90@mail.ru.

² School of School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island Vladivostok, Russia, 690922.

Для цитирования: Цыганков В.Ю., Донец М.М., Гумовский А.Н., Христофорова Н.К. Биотранспорт стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) тихоокеанскими лососями северо-западной части Тихого океана // Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в Дальневосточном регионе: моря, организмы, человек : монография / В.Ю. Цыганков, М.М. Донец, Н.К. Христофорова [и др.] ; науч. ред. В.Ю. Цыганков. – Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. – С. 195–210. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/195-210>.

For citing: Tsygankov V.Yu., Donets M.M., Gumovskiy A.N., Khristoforova N.K. Biotransport of Persistent Organic Pollutants (POPs) by Pacific Salmon of the Northwest Pacific // Persistent organic pollutants (POPs) in the Far Eastern Region: Seas, Organisms, Human : monograph / V.Yu. Tsygankov, M.M. Donets, N.K. Khristoforova [et al.] ; ed. by V.Yu. Tsygankov. – Vladivostok : Publishing House of the Far Eastern Federal University, 2020. – P. 195–210. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/195-210>.

которых может быть значительным. В главе рассчитано общее количество СОЗ, переносимых лососями на российское побережье северо-западной части Тихого океана, показана роль последних в транспорте токсикантов с моря на сушу, и выявлен экологический риск для локальных экосистем.

Ключевые слова: ГХЦГ; ДДТ; ПХБ; биотранспорт; тихоокеанские лососи; северо-западная часть Тихого океана.

CHAPTER 7. Biotransport of Persistent Organic Pollutants (POPs) by Pacific Salmon of the Northwest Pacific

*V.Yu. Tsygankov^{1,2}, M.M. Donets¹, A.N. Gumovskiy¹,
N.K. Khristoforova^{1,3}*

Along with the atmospheric transport in the World Ocean, the biotransport of POPs by marine organisms making long-term migrations is of certain importance. First of all, these are salmon, the number of which in the subarctic region of the Pacific Ocean in the last decade has reached 1.5 million tons. Dying after spawning in rivers and lakes, salmon leave pollutants on spawning grounds. In the chapter, the total amount of POPs transported by salmon to the Russian coast of the northwestern Pacific Ocean is calculated, their role in the transport of toxicants from the sea to land is shown, and the environmental risk for local ecosystems is identified.

Keywords: HCHs; DDTs; PCBs; biotransport; Pacific salmon; Northwest Pacific

Биогеохимические круговороты элементов в биосфере происходят под действием основных экологических факторов. Уникальным примером направленного переноса биогенных элементов в океане являются нерестовые миграции анадромных рыб, в том числе тихоокеанских лососей, у которых нагул происходит в океане, а нерест и раннее развитие – в пресной воде, в реках и озерах. Погибающие после нереста многие миллионы экземпляров рыб оставляют на нерестилищах в составе своих тушек и скелета значительные количества минеральных компонентов и органического вещества. Подобная «морская помпа» по переносу биогенов рассматрива-

ется как эволюционный механизм, обеспечивающий успешность развития икры и выживания молоди в пресной воде [8, 12].

Во время нагула в океане и особенно перед нерестовой миграцией лососи аккумулируют резервные липиды, как для удовлетворения энергетических затрат, так и для развития гонад во время миграций. Одновременно с накоплением липидов аккумулируются и липофильные СОЗ из морской среды [11, 13]. СОЗ накапливаются в органах животных и вызывают различные негативные биологические эффекты, нарушая основные метаболические процессы и снижая успешность репродукции [17]. Присутствие токсикантов в районах нагула лососей, удаленных от хозяйственной деятельности, является следствием сформировавшегося глобального фона пестицидов, переносимых ветрами из районов использования (тропическая и субтропическая зоны) на огромные расстояния в умеренные широты. Мигрирующие рыбы могут выступать как векторы, переносящие органические поллютанты в процессе биотранспорта от субтропических и южнобореальных к бореальным и субарктическим экосистемам.

Расчет количества перенесенных СОЗ выполнен на основе данных о содержании таковых во всем организме лососей (Глава 6).

7.1. Биотранспорт ХОП в 2008–2012 гг.

Можно выделить два различных вектора переноса поллютантов в океане – атмосферный и биотранспорт, которые различаются по нескольким важным показателям. Во-первых, поллютанты в лососях могут напрямую использоваться при биоаккумуляции, поскольку икра лососей, их тушки и скелеты непосредственно служат пищей для хищников. В отличие от этого, при атмосферном переносе поллютанты подвергаются различным физико-химическим воздействиям, что меняет эффективность переноса по пищевым цепям. Во-вторых, при биотранспорте возможен перенос на весьма длительные расстояния неустойчивых в химическом отношении веществ, или таких соединений, которые не способны к атмо-

сферному переносу (нелетучие вещества, например, хлорированные жирные кислоты, которые легко аккумулируются в жировой ткани рыб) [13].

Тихоокеанские лососи в силу особенностей своей жизненной стратегии постоянно осуществляют и будут осуществлять перенос стойких загрязняющих веществ в районы нерестилищ на материке. Это явление имеет как фундаментальный характер, поскольку изменяет основные биогеохимические циклы переноса вещества с моря на сушу, так и прикладное значение: попадание пестицидов на нерестилища может повлиять на успех размножения лососей, что скажется в конечном счете на их промысловых запасах.

Расчет количества перенесенных пестицидов 2008-2010 гг. выполнен на основе данных о содержании ХОП во всем организме кеты и горбуши, как в наиболее массовых видах. Их доля в общем подходе при нерестовых миграциях составляет более 80%. Содержание в них ХОП пересчитывалось из нг/г липидов в нг/г сырой массы. Для расчета биотранспорта 2011 и 2012 гг. к первым двум видам добавлены нерка и чавыча.

Количество лососей, мигрирующих к российскому побережью, варьирует год от года, но структура подхода сохраняется – 60-65% составляет горбуша, 20–25% – кета, 10–12% – нерка, и небольшая доля приходится на кижуча и чавычу. Кета и горбуша составляют основу подхода на восточной Камчатке, восточном Сахалине, материковом побережье Охотского моря, в бассейне Амура [6, 7]. Количество рыбы, пропущенной на нерест в отдельных районах Дальнего Востока в 2008–2012 гг., приведено в таблицах 7.1–7.3.

Именно эта рыба, пропущенная на нерест, погибнет на нерестилищах и послужит пищей для многих организмов, связывая таким образом морские и наземные пищевые цепи, или, иначе говоря, перенося органическое вещество из океана на сушу. Данные о заполнении нерестилищ лососями во всей Северной Пацифике приводятся в открытых отчетах Северо-Тихоокеанской комиссии по анадромным рыбам (NPAFC).

Содержание ХОП как средняя сумма ГХЦГ+ДДЕ в горбуше составляла 68,85 нг/г, в кете – 182,5 нг/г сырой массы. Средний вес одного экземпляра нерестовой горбуши равен 1,3 кг, кеты – 3,5 кг. Расчеты показывают, что одна горбуша содержит до 90 мкг пестицидов, кета – до 640 мкг. Для нерки и чавычи провести анализ целой туши рыбы не представлялось возможным. Поэтому было определено среднее количество жира в рыбе –

в нерке 1,6 %, по нашим данным, и в чавыче 10%, по справочным данным. На основании этого были рассчитаны общие суммарные количества пестицидов в мышцах этих видов рыб: чавыча – 124,1 нг/г; нерка – 20,33 нг/г сырой массы. Мышечная ткань составляет более 75%, поэтому общее содержание в мышцах будет примерно соответствовать таковому в тушке. Если масса одной нерки – 4 кг, то общее содержание пестицидов в рыбе 81,3 мкг. Следует отметить, что образцы нерки были собраны в июле, во время нерестовых миграций, когда масса рыб составляла около 1 кг, и содержание пестицидов было минимальным. Для одной чавычи массой 7 кг общее содержание ХОП будет составлять 870 мкг.

Таблица 7.1

**Заполнение нерестилищ кетой и горбушей (тыс. экз.)
в российской зоне дальневосточных морей в 2008–2010 гг.**

Район	Кета			Горбуша		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Восточная Камчатка	399,56	2953,67	404,95	2914,9	94497	8757
Западная Камчатка	722	715,8	391,6	38948,8	118,6	46441
Охотское море (Магаданская область)	3860	8827	5931	3225,4	28042,5	1926
Курильские острова	105	72,6	261,2	1431,9	1216,4	2009
Восточный Сахалин	478,5	513,5	481,5	8782,7	18478,7	11708
Бассейн Амура	2747	20079	10827	1132,9	2927,0	9444
Западная часть Берингова моря	3999,9	1942,9	2191,5	70,2	170,0	60

Таблица 7.2

**Заполнение нерестилищ лососями на российском побережье
ДВ морей (тыс. экз.) в 2011 г.**

Район	Горбуша	Кета	Нерка	Чавыча
Западная часть Берингова моря	10000	2310	500	
Восточная Камчатка	53549	393,1	308,8	7,7
Курильские острова	1387,8	265,1		
Западная Камчатка	1212,7	479,9	2342,7	16,1
Охотское море (Магаданская область)	18744,5	4790	22	
Восточный Сахалин	12926,1	156,0		
Бассейн р. Амур	7 982,7	6 137,1		
Приморье	213,7	60,2		
Юго-Западный Сахалин	176,6	2,6		

Тогда общее количество ХОП, переносимое, например, в 2009 г., только горбушей и кетой на восточную Камчатку составляет 10,4 кг, в

бассейн Амура – более 13 кг, на материковое побережье Охотского моря – 8,1 кг (табл. 7.4, 7.5). В 2011 г. максимальное количество ХОП перенесено горбушей на восточную Камчатку – 4,8 кг, а в 2012 г. – кетой в бассейн Амура, 4,2 кг. (табл. 7.6).

Таблица 7.3

**Заполнение нерестилищ лососями на российском побережье
ДВ морей (тыс. экз.) в 2012 г.**

Район	Горбуша	Кета	Нерка	Чавыча
Восточная Камчатка	8077,5	223,1	634,7	7,9
Курильские острова	1481,0			
Западная Камчатка	19636,7	235,1	2133,3	26,7
Охотское море (Магаданская область)	19755,5	4643,2	47,4	
Восточный Сахалин	12141,2			
Бассейн р. Амур	9347,4	6545,2		
Приморье	2046,2	61,9		
Юго-Западный Сахалин	1394,2			

Таблица 7.4

**Количество хлорорганических пестицидов (кг) в кете и горбуше,
мигрирующих на тихоокеанское побережье России (2008–2010)**

Район	Кета			Горбуша		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Восточная Камчатка	0,26	1,89	0,26	0,26	8,51	0,79
Западная Камчатка	0,46	0,46	0,25	3,50	0,01	4,10
Охотское море (Магаданская область)	2,47	5,65	3,80	0,29	2,52	0,17
Курильские острова	0,07	0,05	0,17	0,13	0,11	0,18
Восточный Сахалин	0,31	0,33	0,31	0,79	1,66	1,05
Бассейн Амура	1,76	12,81	6,90	0,10	0,26	0,85
Западная часть Берингова моря	2,56	1,24	1,40	0,01	0,02	0,01
Итого	7,9	22,4	13,1	5,1	13,1	7,1

В 2008 г. поступление пестицидов за счет лососей в различные районы тихоокеанского побережья России варьировало от 0,52 до 4 кг, а в 2009 – от 0,47 до 13 кг, в 2010 – от 0,35 до 7,75 кг. За три года наибольшее количество пестицидов пришло в бассейн Амура, около 23 кг (рис. 7.1). Высокие подходы лососей в последние годы определяют ежегодный пере-

нос пестицидов на сушу от 13 до 30 кг. Таким образом, общее содержание пестицидов на каждом нерестилище увеличивается.

Таблица 7.5

Общее количество хлорорганических пестицидов (кг), переносимых кетой и горбушей на тихоокеанское побережье России в 2008–2010 гг.

Район	2008	2009	2010
Восточная Камчатка	0,52	10,39	1,05
Западная Камчатка	3,96	0,47	4,35
Охотское море (Магаданская область)	2,76	8,17	3,97
Курильские острова	0,20	0,16	0,35
Восточный Сахалин	1,10	1,99	1,36
Бассейн Амура	1,86	13,07	7,75
Западная часть Берингова моря	2,57	1,26	1,41
Итого	13,0	35,5	20,2

Таблица 7.6

Общее количество пестицидов (кг), перенесенных лососями на российское побережье ДВ морей в 2011–2012 гг.

Район	Горбуша	Кета	Нерка	Чавыча	ΣХОП
2011					
Западная часть Берингова моря	0,9	1,5	0,04		2,44
Восточная Камчатка	4,8	0,3	0,03	0,007	5,137
Курильские острова	0,1	0,2			0,3
Западная Камчатка	0,1	0,3	0,2	0,01	0,61
Охотское море (Магаданская область)	1,7	3,1	0,002		4,802
Восточный Сахалин	1,2	0,1			1,3
Бассейн р. Амур	0,7	3,9			4,6
Приморье	0,02	0,04			0,06
Юго-Западный Сахалин	0,02	0,002			0,022
Всего	9,54	9,442	0,272	0,017	19,271
2012					
Восточная Камчатка	0,73	0,14	0,05	0,01	0,93
Курильские острова	0,13				0,13
Западная Камчатка	1,77	0,15	0,17	0,02	2,11
Охотское море (Магаданская область)	1,78	2,97	0,004		4,75
Восточный Сахалин	1,09				1,09
Бассейн р. Амур	0,84	4,19			5,03
Приморье	0,18	0,04			0,22
Юго-Западный Сахалин	0,13				0,13
Всего	6,65	7,49	0,23	0,03	14,40

В 2011 г. общее количество пестицидов составило 19,1 кг, в 2012 – 14,4 кг. Наибольшее количество пестицидов поступает в бассейн р. Амур, на восточную Камчатку, на континентальное побережье Охотского моря (рис. 7.2). Таким образом, общее содержание пестицидов на каждом нерестилище постепенно уменьшается с каждым годом, но зависит от общего подхода рыбы.

Вылов лососевых в российских водах в последние годы оставался стабильно высоким: 2009 – 542, 2010 – 325, 2011 – 504, 2012 – 438 и 2013 – около 400 тыс. т. Эта величина соответствует 40–60 кг пестицидов, которые по пищевой цепи в конечном счете также рассеиваются на суше.

Рис. 7.1. Распределение пестицидов (кг), перенесенных лососями, по основным районам нерестилищ на российском побережье дальневосточных морей за 2008–2010 гг.

В настоящее время лососи – самые массовые рыбы верхнего слоя эпипелагиали Северной Пацифики. Пищевые ресурсы этого слоя водных масс, который относительно слабо заселен другими видами, достаточны для прокорма большого количества рыб [7]. При исследовании мигрирующих рыб показано, что состав изотопов углерода и азота в органах лососей на нерестилищах сходен с таковым в районах нагула, в морях или океанических районах [16], т. е. лососи переносят питательные вещества из океана в реки и озера.

Рис. 7.2. Распределение пестицидов (кг), перенесенных лососями, по основным районам нерестилищ на российском побережье дальневосточных морей за 2011–2012 гг.

В основном морское распределение лососей соответствует сезонному распространению водных масс в пределах оптимального для лососей

диапазона температуры воды, от 2–4° до 15–20°С. Однако миграционные процессы зависят от многих факторов, например, сезона, климатических особенностей года, биологического и физиологического состояния рыб, их возраста, наличия кормовых объектов и других. Определенный вклад в миграционное поведение и успешность нереста может вносить и накопление поллютантов.

Именно в этом слое могут концентрироваться атмосферные выпадения и оседающие на минеральных и органических частицах взвеси поллютанты. На юге границей ареалов лососей являются 38–40° с.ш. Эта зона соприкасается с районом так называемого Большого тихоокеанского мусорного пятна, расположенного между 140° в.д. – 160° з.д. и 35° – 42° с.ш. На этом участке сконцентрированы залежи пластика и других отходов, принесенные водами Северо-Тихоокеанской системы течений. Фото-разложение пластика ведет к выделению в воду хлорорганических и полиароматических соединений, а также эстроген-подобных веществ, которые адсорбируются на частицах взвеси в эпипелагиали и могут аккумулироваться лососевыми рыбами [9, 10, 14].

7.2. Биотранспорт СОЗ в 2018 г.

В 2018 году количество лососей в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне, пришедших на нерест, составило 677,2 тыс. т. Распределение лососей по районам представлено в таблице 7.7. Особенностью этого года является преимущественный подход лососей на западную Камчатку (Охотское море) и восточную Камчатку (Северо-западная часть Тихого океана). Высокие подходы отмечены также на Сахалине и континентальной части Охотского моря (Магаданская область). Еще одной особенностью 2018 года стало отсутствие лососей на нерестилищах Амура: при норме кеты 50 экземпляров на 100 м плотность составила от 0,07 до 0,12 на 100 м [1].

Лососи, мигрирующие на нерест, частично вылавливаются в путину, частично проходят на нерест в места нерестилищ в реках и озерах на побережье. Именно лососи, прошедшие на нерестилища, осуществляют перенос биогенов в малокормные нерестовые районы и, таким образом, свя-

зывают океанические и наземные экосистемы. Оставшиеся после нереста тушки лососей служат пищей медведям и другим животным прибрежной зоны, а также разлагаются редуцентами и поступают в биогеохимический круговороты по всему побережью.

Таблица 7.7

**Заполнение нерестилищ лососями
на российском побережье ДВ морей (тыс. экз.) в 2018 г.**

Район	Нерка	Кета	Горбуша
Западная часть Берингова моря	450	2700	1000
Восточная Камчатка	686,1	696	41396
Курильские о-ва	—	307,5	1955,5
Западная Камчатка	2415	1184	112362
Охотское море (Магаданская область)	—	1430	8071
Восточный Сахалин	—	218,3	10287,9
Приморье	—	80	550
Юго-Западный Сахалин	—	294,5	10,6
— ¹ нет данных			

Известно, что наряду с питательными веществами, лососи аккумулируют в органах и загрязняющие вещества, в том числе стойкие органические загрязняющие вещества типа ХОП и ПХБ. Лососи захватывают их из морской среды в ходе миграций в открытом океане, где СОЗ выпадают на поверхность вследствие ветрового переноса из районов применения в субтропических и тропических широтах [3, 11, 13]. СОЗ способны накапливаться в органах рыб и оказывать различные негативные биологические эффекты, нарушая основные метаболические процессы и снижая успешность репродукции [17].

В 2018 г. пестициды и ПХБ определялись только в лососях, собранных вблизи устья р. Камчатка на восточном побережье п-ова Камчатка в северо-западной части Тихого океана. По нашим данным, среднее количество ХОП в мышцах нерки составляет 10,1 нг/г, в мышцах кеты – 2,5 нг/г, в мышцах горбуши – 4,0 нг/г сырой массы. Средний вес одной особи нерки оставляет 2,2 кг, кеты – 2,8 кг, горбуши – 1,2 кг (по данным NPAFC 2018 г.). Следовательно, количество ХОП в одном экземпляре нерки составляет 22,2 мкг, кеты – 7 мкг, горбуши – 4,8 мкг.

Тогда общее количество ХОП, переносимых неркой к российскому побережью в 2018 г. (табл. 7.8) составляет 0,08 кг, кетой 0,05 кг., горбушей 0,084 кг. Всего три вида рыб переносят почти 1 кг ХОП. Наибольшее количество поступает на восточную и западную Камчатку.

На основании общего содержания ХОП, найденном в рыбах, выловленных в те годы, в 2008 г. перенос составил 13 кг, 2009 – 35,5 кг, 2010 – 20 кг, 2011 – 19 кг, 2012 – 14 кг [4]. В 2018 г перенос составил всего 1 кг, и общее содержание ХОП в мышцах рыб было значительно ниже, чем в предыдущие годы. Это дает основание заключить, что снижение переноса ХОП лососями отражает общую тенденцию сокращения «пестицидного» фона на планете в целом, и в Тихом океане в частности, как следствие сокращения производства и применения пестицидов в большинстве стран в соответствии с решениями Стокгольмской конвенции [2].

Таблица 7.8

**Общее количество пестицидов (кг), перенесенных лососями
на российское побережье ДВ морей в 2018 г.**

Район	Нерка	Кета	Горбуша	Всего
Западная часть Берингова моря	0,010	0,019	0,005	0,034
Восточная Камчатка	0,015	0,005	0,199	0,219
Курильские о-ва	–	0,002	0,009	0,012
Западная Камчатка	0,054	0,008	0,539	0,601
Охотское море (Магаданская область)	–	0,010	0,039	0,049
Восточный Сахалин	–	0,002	0,049	0,051
Приморье	–	0,001	0,003	0,003
Юго-Западный Сахалин	–	0,002	0,000	0,002
Всего	0,08	0,05	0,84	0,97

–¹ нет данных

В отличие от хлорорганических пестицидов полихлорированные бифенилы продолжают использоваться человеком и аккумулируются в биоте. Постоянное поступление ПХБ в морскую среду в различных районах связано с активностью судоходства. По нашим данным, среднее количество ПХБ в теле лососей выше, чем уровень ХОП (табл. 7.9).

Для нерки средняя концентрация составляет 18,4 мкг/кг сырой массы, кеты – 9,1 мкг/кг, горбуши – 86 мкг/кг. Распределение этих соединений между видами отличается от такового для ХОП, где наибольшая концентрация определена у нерки. В целом нерка приносит к российскому побережью 0,07 кг ПХБ, кета – 0,06 кг, горбуша – 15,1 кг.

Наибольшее количество поступает на восточную и западную Камчатку. Общее количество ПХБ, переносимое лососями к Российскому побережью, составляет 15,23 кг, что в 15 раз больше, чем ХОП. Содержание

ПХБ в органах лососей дальневосточного бассейна и, соответственно, биотранспорт этих соединений ранее мы не измеряли, и представить долговременные изменения этих показателей не представляется возможным. Можно отметить, что у жилой формы нерки (кокани) из Толмачевского водохранилища на п-ове Камчатка содержание ПХБ в мышцах составляло от 23 до 43 нг/г липидов, что также подтверждает аккумуляцию ПХБ лососевыми в данном регионе [5].

Таблица 7.9

**Общее количество ПХБ (кг), перенесенных лососями
на российское побережье ДВ морей в 2018 г.**

Район	Нерка	Кета	Горбуша	Всего
Западная часть Берингова моря	0,008	0,025	0,086	0,119
Восточная Камчатка	0,013	0,006	3,560	3,579
Курильские о-ва	—	0,003	0,168	0,171
Западная Камчатка	0,044	0,011	9,663	9,718
Охотское море (Магаданская область)	—	0,013	0,694	0,707
Восточный Сахалин	—	0,002	0,885	0,887
Приморье	—	0,001	0,047	0,048
Юго-Западный Сахалин	—	0,003	0,001	0,004
Всего	0,07	0,06	15,10	15,23

—¹ нет данных

Наши результаты показывают (рис. 7.3), что присутствие ХОП и ПХБ в морской среде приводит к их неизбежной аккумуляции в биоте. Загрязнение прибрежных вод в последние годы значительно снизилось в связи с мерами по запрещению использования СОЗ (на основании результатов определения поллютантов в лососях 2010 и 2018 гг.). Однако в открытом океане этот процесс выражен гораздо слабее [15]. Океан все еще остается конечным резервуаром, принимающим стойкие токсиканты, и биоаккумуляция СОЗ в океане по пищевым цепям продолжается. Лососи являются удобным объектом для мониторинга циркуляции СОЗ в биосфере. Органические поллютанты оказываются прочно встроенными в направленный транспорт биогенов, осуществляемый лососями и связывающий океанические и наземные экосистемы. Ежегодное попадание СОЗ в районы нерестилищ и постоянное увеличение их концентрации в локальных зонах определяет возможность экологического риска для определенных популяций, успех нереста которых может быть снижен вследствие токсичности среды.

Рис. 7.3. Распределение ХОП и ПХБ (кг), перенесенных лососями, по основным районам нерестилищ на российском побережье дальневосточных морей за 2018 г.

7.3. Список литературы

1. Амур истощен: запас лососевых может не восстановиться [Электронный ресурс]. – WWF России, 2018. – Режим доступа: <https://www.dvnovosti.ru/khab/2018/12/11/92182/>.
2. Конвенция о принятии международных мер в отношении отдельных стойких органических загрязнителей. – Стокгольм, 2001. – 44 с.

3. Лукьянова, О.Н. Биотранспорт пестицидов тихоокеанскими лососями в северо-западной Пацифике / О.Н. Лукьянова, В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова, Н.К. Христофорова // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 456. – № 3. – С. 363–365.
4. Лукьянова, О.Н. Тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* как вектор переноса стойких загрязняющих веществ в океане / О.Н. Лукьянова, В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова, Н.К. Христофорова // Вопросы ихтиологии. – 2015. – Т. 55. – № 3. – С. 351–355.
5. Мамонтова, Е.А. Хлорорганические пестициды и полихлорированные бифенилы в тканях жилой формы нерки Толмачевского водохранилища, п-ов Камчатка / Е.А. Мамонтова, Е.В. Лепская, Е.Н. Тарасова [и др.]. // Биология внутренних вод. – 2018. – № 2. – С. 76–83.
6. Шунтов, В.П. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах / В.П. Шунтов, О.С. Темных. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. – Т. 1. – 481 с.
7. Шунтов, В.П. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах / В.П. Шунтов, О.С. Темных. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2011. – Т. 2. – 473 с.
8. Cederholm, C.J. Pacific salmon carcasses: essential contributions of nutrients and energy for aquatic and terrestrial ecosystems / C.J. Cederholm, M.D. Kunz, T. Murota, A. Sibatanim // Fisheries. – 1999. – V. 24. – P. 6–15.
9. Choy, C.A. Plastic for dinner? Observation of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the central North Pacific / C.A. Choy, J.C. Drazen // Marine Ecology Progress Series. – 2013. – V. 485. – P. 155–153.
10. Derraik, J.G.B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review / J.G.B. Derraik // Marine Pollution Bulletin. – 2002. – V. 44. – P. 842–852.
11. Ewald, G. Biotransport of organic pollutants to an Inland Alaska Lake by migrating Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) / G. Ewald, P. Larsson, H. Linge [et al.] // Arctic. – 1998. – V. 51. – No. 1. – P. 40–47.
12. Helfield, J.M. Effects of salmon-derived nitrogen on riparian forest growth and implications for stream productivity / J.M. Helfield, R.J. Naiman // Ecology. – 2001. – V. 82. – P. 2403–2409.
13. Krummel, E.M. Delivery of pollutants by spawning salmon / E.M. Krummel, R.W. Macdonald, L.E. Kimpe [et al.] // Nature. – 2003. – V. 425. – P. 255–256.

14. Moore, C. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre / C. Moore, S.L. Moore, M.K. Leecaster, S.B. Weisberg // *Marine Pollution Bulletin*. – 2001. – V. 42. – No. 12. – P. 1297–1300.
15. Tanabe, S. Contamination by Persistent Toxic Substances in the Asia-Pacific Region / S. Tanabe // *Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate*. – A. Li, S. Tanabe, G. Jiang, J.P. Giesy and P.K.S. Lam (Editors). – *Developments in Environmental Science*. – 2007. – V. 7. – P. 773–817.
16. Veldhoen, N. Gene expression profiling and environmental contaminant assessment of migrating Pacific salmon in the Fraser River watershed of British Columbia / N. Veldhoen, M. Ikonomou, C. Dubetz [et al.] // *Aquatic Toxicology*. – 2010. – V. 97. – P. 212–225.
17. Wong, M.H. Persistent toxic substances: sources, fates and effects / M.H. Wong, M.A. Armour, R. Naidu, M. Man // *Reviews on Environmental Health*. – 2012. – V. 27. – No. 4. – P. 207–213.