

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 556.541:556.16 (292.256.3)

РОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО РЕЧНОГО СТОКА В АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ ЕНИСЕЙСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ

© 2010 г. А. М. Никаноров*, В. А. Брызгалю**, Л. С. Косменко**, О. С. Решетняк**

* Южный отдел Института водных проблем Российской академии наук

** Гидрохимический институт

344090 Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 198

Поступила в редакцию 23.12.2008 г.

На основе анализа многолетней режимной гидрохимической информации Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды проведена оценка антропогенной нагрузки на придельтовый участок устьевой области р. Енисей у городов Игарка и Дудинка. Прослежены основные тенденции накопления в Енисейской устьевой области биогенных соединений и таких загрязняющих веществ как нефтепродукты, фенолы, соединения меди и железа. Показано, что при существующей антропогенной нагрузке и степени загрязненности водной среды наметилась тенденция перехода придельтовой экосистемы р. Енисей из равновесного в кризисное состояние.

Ключевые слова: устьевая область р. Енисей, антропогенная нагрузка, сток химических веществ, состояние устьевой области.

Сложившаяся в течение многих лет система природопользования в российской Арктике характеризуется экстенсивным развитием хозяйственной деятельности. Продолжающийся рост добычи, транспортировки и переработки минерального сырья, нефти и газа, применение мощных транспортных средств (наземных и водных), использование удобрений и ядохимикатов — причина заметной деградации наземных и водных экосистем [6, 7].

Необходимо учитывать, что антропогенное воздействие происходит в условиях сурового климата, низкого потенциала самоочищения и самовосстановления природных экосистем. Это предопределяет высокую уязвимость водных объектов Севера и Сибири, в том числе их повышенную чувствительность ко всем формам антропогенного влияния. Длительное антропогенное воздействие сказывается не только на наземных и водных экосистемах суши, но через химический сток по рекам — и на морских экосистемах. В настоящее время элементы экологического регресса пресноводных экосистем можно наблюдать на значительном числе водных объектов Арктики, особенно на малых реках в экономически развитых районах [8].

Проведенные ранее исследования по оценке изменчивости величин стока химических веществ крупных арктических рек позволяют предположить, что физический перенос многих загрязняющих веществ (ЗВ) преобладает над процессами их химико-биологической трансформации. Происходит поступление в устья арктических рек больших

объемов ЗВ [2, 8]. Это приводит к увеличению нагрузки на устьевые экосистемы и к нарушению естественного равновесия между абиотической и биотической составляющими.

В статье рассмотрена антропогенная трансформация состояния водной среды под влиянием химического речного стока на примере устьевой области р. Енисей.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Роль речного стока химических веществ в арктические моря с территории России чрезвычайно велика. Приток по рекам растворенных веществ — один из важнейших факторов формирования гидрохимического режима низовий рек и их устьевых областей.

Один из основных путей поступления в российскую Арктику ЗВ — их перенос по транзитным рекам с сопредельных с Арктикой территорий. Крупные реки Севера и Сибири собирают воду и взвешенные вещества с огромных водосборных площадей, связанных с различными видами хозяйственной деятельности, и транспортируют их далее вниз по течению до замыкающих створов арктических рек. Поэтому компонентный состав стока растворенных химических веществ формируется под влиянием таких факторов как характер местного и регионального, в том числе и трансграничного, распространения ЗВ, сорбция их речным льдом из атмосферы и

самой реки в течение ледостава, биоаккумуляция многих ЗВ и вовлечение их в пищевые цепи биоценозов.

Суммарный эффект перечисленных выше факторов находит свое отражение по длине рек вплоть до замыкающих створов арктических водотоков.

Поэтому в настоящее время речной перенос как источник и местного, и регионального распространения ЗВ — определяющий фактор изменчивости гидрохимического режима не только низовьев рек, но и эстуариев, и прибрежных частей морских акваторий арктического региона.

Сток растворенных веществ рассчитан по предложенному ранее прямому методу расчета по формуле [9]

$$G = \sum_{i=1}^m W_i \bar{C}_i, \quad (1)$$

где G — количество перенесенного вещества за расчетный период, тыс. т; m — число интервалов расчетного периода; W_i — объем стока воды за i -й интервал расчетного периода, км³; \bar{C}_i — средняя концентрация вещества за i -й интервал расчетного периода, мг/л.

Для оценки изменчивости объемов химического стока использован массив данных, включающий многолетнюю (1981–2005 гг.) режимную информацию Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды (ГСН) [4] по внутри- и межгодовой изменчивости расходов воды, концентрации биогенных соединений и ЗВ на придельговом участке устьевой области р. Енисей у городов Игарка и Дудинка.

Значимыми для оценки природной и антропогенной изменчивости стока растворенных химических веществ считались вариационные ряды не менее 10 лет режимных наблюдений с частотой отбора проб не менее 6–12 раз в год.

Оценка притока растворенных веществ с речным стоком на отдельные участки реки проводилась по модулю стока растворенных веществ (отношение среднегодовых объемов химического стока к площади водосбора).

На основе анализа многолетней режимной информации для оценки химического стока р. Енисей на участках у городов Игарка и Дудинка были выбраны следующие химические вещества: легкоокисляемые органические вещества (определяемые по биохимическому потреблению кислорода (БПК₅)), N аммония, нитритов, нитратов, P фосфатов и общий, фенолы, нефтепродукты, соединения Fe, Cu, Zn, Ni.

Учитывая высокую пространственно-временную изменчивость содержания вышеперечисленных соединений, оценка химического речного стока была

проведена по среднемесячным многолетним и среднемноголетним значениям.

ПРИТОК ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ЕГО МНОГОЛЕТНЯЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Расчет и анализ диапазонов колебания среднегодовых объемов притока растворенных химических веществ на устьевой участок р. Енисей у городов Игарка и Дудинка показал их высокую временную изменчивость.

За исследуемый многолетний период наибольшие колебания среднегодового объема притока химических веществ отмечены (табл. 1, 2) на участке у г. Игарка по соединениям Zn, нефтепродуктам, фенолам и N нитратов; на участке у г. Дудинка — по N нитратов и аммония, соединениям Ni и Zn, нефтепродуктам.

Во временном аспекте наблюдается тенденция увеличения притока соединений Zn в новом тысячелетии на фоне уменьшения объемов притока фенолов и нефтепродуктов (табл. 1).

Наибольший приток химических веществ отмечен для легкоокисляемых органических веществ, N аммония и нефтепродуктов. По всем остальным ингредиентам величина химического притока на один–два порядка меньше.

Широкий диапазон колебания величины притока химических веществ в сравнении с диапазоном колебания водного стока обусловлен не столько изменчивостью последнего, сколько значительной вариацией концентраций химических веществ в водной среде.

Обращает на себя внимание очевидное преобладание объемов притока N аммония над притоком N нитритов, что связано как с особенностями водосборных бассейнов (заболоченностью и кислотностью болотных вод), так и с усилением внутрисистемных процессов аммонификации при поступлении больших количеств органических веществ антропогенного происхождения.

Известно, что содержание в воде соединений N и P определяет биопродуктивность водных экосистем. С другой стороны, формирование режима биогенных соединений в значительной степени зависит от естественной периодичности развития сообществ водных организмов и связанной с ними скорости и направленности продукционно-деструкционных внутриводных процессов [1].

Для оценки внутригодовой изменчивости объемов притока N- и P-содержащих соединений были проведены расчеты среднемесячных величин среднемноголетних объемов притока биогенных веществ у г. Игарка (р. Енисей). Результаты показали их высокую вариабельность с тенденцией увеличения в мае и июне (табл. 3).

Таблица 1. Временная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ р. Енисей у г. Игарка (здесь и в табл. 2–4 прочерк — отсутствие данных; здесь и в табл. 8, 9 н.о. — ниже предела обнаружения)

Ингредиент	Объем притока химических веществ, тыс. т/год											
	общий диапазон колебания	средне-многолетний	диапазон колебания за 1981–1985 гг.	средний за период	диапазон колебания за 1986–1990 гг.	средний за период	диапазон колебания за 1991–1995 гг.	средний за период	диапазон колебания за 1996–2000 гг.	средний за период	диапазон колебания за 2001–2005 гг.	средний за период
N аммония	562–324	163	93.6–324	225	56.2–301	155	69.7–151	112	61.8–200	129	95.4–305	159
N нитритов	н.о.–2.74	0.364	н.о.–2.47	0.611	н.о.–2.74	1.66	н.о.–0.631	0.307	н.о.–2.48	0.619	н.о.	н.о.
N нитратов	н.о.–175	33.3	26.8–162	68.2	5.06–175	48.2	н.о.–56.8	23.3	0.64–436.5	9.63	н.о.–13.5	4.9
P фосфатов	н.о.–13.9	4.75	2.14–13.6	7.91	н.о.–13.9	5.02	2.63–6.31	4.14	1.85–7.58	3.94	н.о.–4.05	1.35
P общий	5.45–36.4	17.2	24.1–36.4	29.0	10.1–23.5	14.5	8.55–25.2	16.1	8.00–19.7	13.0	н.о.–16.9	6.10
Легкоокисляемые органические вещества (по БПК ₅)	290–1736	960	1049–1736	1293	915–1154	1022	290–1178	851	471–717	600	954–1418	1016
Фенолы	0.64–9.11	3.13	1.76–9.11	4.38	1.09–4.49	2.69	2.90–5.92	4.41	0.64–3.09	2.09	0.68–2.98	1.32
Нефтепродукты	43.2–949	261	238–949	445	152–265	197	297–476	358	43.2–333	152	83.4–343	188
Fe общее	40.7–464	222	229–464	309	120–349	210	40.7–202	142	98.9–274	203	121–218	168
Соединения Cu	0.76–8.65	4.22	2.28–8.65	5.25	0.76–3.48	2.25	3.16–3.53	3.31	2.74–7.23	4.90	5.84–8.33	6.95
Соединения Zn	0.21–39.2	14.3	0.21–1.39	0.74	–	–	12.7–18.3	15.5	9.57–34.9	18.6	12.8–29.5	23.5
Соединения Ni	–	–	0.18–0.80	0.40	н.о.–0.71	0.40	–	–	–	–	–	–
Водный сток, км ³	536–681	609	536–618	570	548–634	608	554–658	611	605–637	617	596–681	645

Таблица 2. Временная изменчивость объемов притока растворенных химических веществ р. Енисей у г. Дудинка

Ингредиент	Объем притока химических веществ, тыс. т/год										
	общий диапазон колебания	средне-мно-голетний	диапазон колебания за 1981–1985 гг.	средний за период	диапазон колебания за 1986–1990 гг.	средний за период	диапазон колебания за 1991–1995 гг.	средний за период	диапазон колебания за 1996–2000 гг.	средний за период	диапазон колебания за 2001, 2003 гг.
N аммония	0.70–345	160	71.4–345	171	90.7–227	163	126–236	177	110–216	172	9.70–93.3
N нитритов	н.о.–3.69	1.28	н.о.–1.70	0.704	0.15–3.64	2.25	н.о.–3.21	1.30	н.о.–3.69	1.37	
N нитратов	0.51–312	46.3	37.7–312	108	7.81–168	47.8	3.35–61.8	16.9	7.76–39.8	23.0	0.51–14.7
Леткоокисляемые органические вещества (по БПК ₅)	400–1499	917	546–1361	932	400–1108	829	755–1064	905	671–1499	969	700–1303
Фенолы	0.31–4.40	1.43	0.60–4.40	2.70	0.56–1.27	0.88	0.50–1.60	0.86	0.31–1.23	0.78	3.26
Нефтепродукты	17.2–404	133	171–404	244	29.9–148	95.0	39.4–194	104	18.5–217	109	17.2; 155
Fe общее	54.7–242	138	–	–	100–205	152	54.7–212	119	95–242	155	56.9; 148
Соединения Cu	2.61–7.98	4.92	4.37–7.98	6.27	4.64–6.61	5.44	2.61–7.13	3.97	2.81–7.77	4.02	3.58; 6.16
Zn	0.20–3.95	1.05	0.22–1.42	0.75	–	–	0.21–1.41	0.66	0.41–3.95	1.94	0.20; 1.62
Ni	0.08–7.12	2.44	0.08–2.41	0.997	0.46–3.46	2.16	0.52–5.51	2.93	1.68–7.12	3.93	0.61; 3.51
Водный сток, км ³	545–692	617	545–628	579	558–644	618	561–668	620	615–647	627	606–692

Таблица 3. Внутригодовая изменчивость объемов водного и химического стока р. Енисей у г. Игарка по среднемуголетним значениям (жирный шрифт – максимальные значения)

Месяц	Среднеуголетние величины объемов притока, тыс. т					
	водного, км ³	N			P	
		аммония	нитритов	нитратов	фосфатов	общего
Январь	1.96	–	–	–	–	–
Февраль	1.96	–	–	–	–	–
Март	2.11	0.295	0.042	1.24	0.025	0.053
Апрель	2.13	0.256	0.043	0.426	0.043	0.109
Май	70.2	12.6	0.421	35.8	0.772	2.39
Июнь	211	129	0.633	5.28	3.17	5.70
Июль	67.3	23.6	0.067	1.08	0.538	1.28
Август	43.1	10.8	0.086	0.431	0.388	1.34
Сентябрь	41.1	10.3	0.082	0.411	0.329	1.36
Октябрь	35.4	7.08	0.035	0.566	0.500	0.850
Ноябрь	20.1	–	–	–	–	–
Декабрь	18.4	–	–	–	–	–

Минимальное поступление наблюдается обычно в осенне–зимний период, что связано с естественным сокращением водного стока. Весной с мая по июнь в устьевую экосистему поступает > 60–70% годового объема биогенных веществ, что значительно превышает их естественный природный

фон. Характер внутригодовой неоднородности обусловлен не только сезонной изменчивостью водного стока, но и внутригодовой изменчивостью содержания соединений N и P.

Если сравнить среднеуголетние величины притока исследуемых ЗВ с допустимыми по ПДК объемами их притока, то можно заключить, что эти соединения, поступающие на устьевой участок, превышают допустимые у г. Игарка (табл. 4) по нефтепродуктам в 8.6 и 31 раза, фенолам – в 5 и 15 раз, соединениям Fe – в 3.6 и 7.6 раз, соединениям Cu – в 6.9 и 14 раз, соединениям Zn – в 2.3 и 6.4 раза соответственно по среднеуголетним и максимальным среднегодовым значениям.

Можно заключить, что физический перенос перечисленных ЗВ периодически преобладает над процессами их химико-биологической трансформации и заметное количество этих соединений поступает на устьевой участок реки, играющий нередко роль “ловушки” для многих растворенных химических веществ.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УСТЬЕВУЮ ОБЛАСТЬ Р. ЕНИСЕЙ У ГОРОДОВ ИГАРКА И ДУДИНКА

Оценка антропогенной нагрузки на устьевую область р. Енисей у городов Игарка и Дудинка была проведена по модулю притока ЗВ с использованием ранее разработанного классификатора (табл. 5) [8]. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Енисей по N аммония, легкоокисляемым органическим веществам и нефтепродуктам приведена в табл. 6. На участке реки у г. Игарка антропогенную

Таблица 4. Среднеуголетние и допустимые по ПДК объемы притока приоритетных ЗВ на устьевом участке р. Енисей (жирный шрифт – максимальная кратность превышения)

Ингредиент (ПДК, мг/л)	Объем притока химических веществ, тыс. т/год							
	г. Игарка				г. Дудинка			
	среднеуголетний	допустимый по ПДК	кратность превышения		среднеуголетний	допустимый по ПДК	кратность превышения	
			среднеуголетняя	максимальная по среднегодовому			среднеуголетняя	максимальная по среднегодовому
N аммония (0.39)	163	237	–	1.4	160	241	–	1.4
N нитритов (0.020)	0.364	12.2	–	–	1.28	12.3	–	–
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅ (2.0)	960	1218	–	1.4	917	1234	–	1.2
Фенолы (0.001)	3.13	0.610	5.1	15	1.43	0.617	2.3	7.1
Нефтепродукты (0.05)	261	30.4	8.6	31	133	30.8	4.3	13
Соединения Fe (0.10)	222	61.0	3.6	7.6	138	61.7	2.2	3.9
Соединения Cu (0.001)	4.22	0.61	6.9	14	4.92	0.617	8.0	13
Соединения Zn (0.010)	14.3	6.10	2.3	6.4	1.05	6.17	–	–
Соединения Ni (0.010)	–	–	–	–	2.44	6.17	–	1.2

Таблица 5. Классификатор антропогенной нагрузки по модулю притока ЗВ [10]

Антропогенная нагрузка	Диапазон максимальных значений модуля притока, т/км ² год		
	по N аммония	по легкоокисляемым органическим веществам по БПК ₅	по нефтепродуктам
Малая	до 0.05	до 0.5	до 0.05
Умеренная	0.06–0.10	0.51–1.0	0.06–0.10
Критическая	0.11–0.20	1.1–1.5	0.11–0.30
Высокая	0.21–0.30	1.6–2.0	0.31–0.50
Очень высокая	0.31–0.60	2.1–3.0	0.51–1.0
Экстремальная	>0.60	>3.0	>1.0

нагрузку по нефтепродуктам можно оценить как переходную от критической к высокой. По притоку N аммония она меняется от умеренной к критической (табл.6).

На участке реки у г. Дудинка степень загрязненности водной среды колеблется от весьма к очень загрязненной, а к критическим ЗВ относятся фенолы, нефтепродукты и соединения Cu (табл. 7).

Априори можно предположить, что при такой антропогенной нагрузке и степени загрязненности водной среды следует ожидать нарушения природного экологического состояния отдельных участков

Енисейской устьевой области. Оценка состояния экосистемы проведена на основании расчетных комплексных показателей загрязненности, характеризующих долю и степень антропогенного воздействия [10].

Доля антропогенного воздействия рассчитана по формуле

$$D = N_1/N 100,$$

где N_1 – число ингредиентов, превышающих ПДК, N – общее число определенных в пробе нормируемых приоритетных ЗВ.

Эта величина оценивает участие антропогенной составляющей в формировании компонентного состава абиотической части экосистемы.

Степень антропогенного воздействия рассчитана по формуле

$$C = N_2/N_1 100,$$

где N_2 – число ингредиентов, превышающих 10 ПДК.

Эта величина оценивает долю ЗВ в общем числе нормируемых ингредиентов.

Критерии изменчивости параметров, по которым проводили оценку состояния устьевой экосистемы, приведены в классификаторе состояния экосистем по абиотическим параметрам (табл. 8) [10].

Сравнительная оценка диапазонов колебания модальных интервалов значений исследуемых показателей указывает на то, что для устьевой области

Таблица 6. Антропогенная нагрузка по приоритетным ЗВ на устьевом участке р. Енисей

Ингредиент	Показатели	Участок	
		г. Игарка	г. Дудинка
		площадь водосбора	
		2440000 км ²	2480000 км ²
N аммония	Диапазон максимальных значений объемов притока, тыс. т/год	278–324	205–345
	модуля притока, т/км ² в год	0.11–0.13	0.08–0.14
	Антропогенная нагрузка	Критическая	Переходная от умеренной к критической
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅	Диапазон максимальных значений объемов притока, тыс. т/год	1049–1736	1032–1499
	модуля притока, т/км ² в год	0.43–0.71	0.42–0.60
	Антропогенная нагрузка	Переходная от малой к умеренной	Переходная от малой к умеренной
Нефтепродукты	Диапазон максимальных значений объемов притока, тыс. т/год	476–949	206–404
	модуля притока, т/км ² в год	0.19–0.39	0.08–0.16
	Антропогенная нагрузка	Переходная от критической к высокой	Переходная от умеренной к критической

Таблица 7. Временная изменчивость степени и характера загрязненности водной среды на участке у г. Дудинка

Пункт наблюдений	Загрязненность	Период наблюдений, годы				
		1980–1984	1985–1989	1990–1994	1995–1999	2000–2003
г. Дудинка, 1 км выше города	Степень	Переходная от очень загрязненной к грязной	Переходная от очень загрязненной к грязной	Весьма загрязненная	Переходная от весьма к очень загрязненной	Очень и весьма загрязненная
	Критические показатели	Соединения Cu, фенолы, нефтепродукты	Соединения Cu, нефтепродукты	Соединения Cu	Соединения Cu, нефтепродукты	Соединения Cu, нефтепродукты
г. Дудинка, 10.5 км ниже города	Степень	Переходная от очень загрязненной к грязной	Переходная от весьма к очень загрязненной	Переходная от весьма к очень загрязненной	Очень загрязненная	Очень загрязненная (в 2003 – слабо загрязненная)
	Критические показатели	Соединения Cu	Соединения Cu	Соединения Cu, нефтепродукты	Фенолы	Фенолы, соединения Cu

Таблица 8. Классификатор состояния водных экосистем по абиотическим параметрам [10]

Состояние экосистемы	Минимальные значения растворенного O ₂ , мг/л	Диапазоны модальных интервалов многолетних вариационных рядов абиотических параметров состояния водных экосистем			
		концентрации, мг/л		доли антропогенного воздействия, %	степени антропогенного воздействия, %
		легкоокисляемых органических веществ по БПК ₅ , мг O ₂ /л	N аммония, мг/л		
Естественное	>6.0	От 0.10 до 1.0	От н.о. до 0.10	От 10 до 30	0
Равновесное	До 4.0–6.0	От 0.50 до 2.0	От н.о. до 0.50	>30 до 50	От 0 до 10
Кризисное	До 2.0–3.9	От 2.1 до 4.0	>0.5 до 1.00	От 40 до 60	>10 до 20
Критическое	До 1.0–1.9	От 4.1 до 7.0	>1.0 до 3.00	От 50 до 80	От 30 до 50
Катастрофическое	<1.0	>7.0	>3.00	>80	>50

р. Енисей наметилась тенденция перехода состояния экосистемы из равновесного к кризисному (табл. 9).

Столь высокая изменчивость антропогенной нагрузки на придельтовом участке р. Енисей предопределяет отрицательное воздействие на устьевое взморье, при котором могут наблюдаться необратимые структурно-функциональные изменения состояния гидробиоценоза.

Для оценки возможного переноса с речными водами исследуемых ЗВ в дельту и устьевое взморье были использованы результаты режимных наблюдений ГСН на территории деятельности Диксонского управления гидрометеорологической службы, исследований, проведенных Ленинградским гидрометеорологическим институтом и экспедициями на научно-исследовательских судах “Иван Петров” и “Академик Борис Петров” [3, 5, 11].

Сравнительная оценка кратности превышения ПДК по N нитритов, фенолам, нефтепродуктам и СПАВ на отдельных участках устьевой области р. Енисей позволила заключить, что загрязненность водной среды фенолами и нефтепродуктами

до 1986 г. оставалась высокой по всей акватории (рис. 1).

С 1981 по 1999 г. водная среда Енисейского зал. по качеству в целом оставалась переходной от грязной к загрязненной [3, 5] с тенденцией последующего снижения содержания ЗВ до 1–2 ПДК (рис. 2).

Подтверждением сохранения различий в состоянии водной среды отдельных участков дельты и устьевое взморья по гидрохимическим показателям служат результаты экспедиционного обследования в сентябре 2000 г. [11]. Особое внимание следует обратить на соотношение между N нитритов и нитратов. На входе в дельту соотношение между ними составляет 1 : 0.2, а на выходе 1 : 11. На входе в устьевое взморье оно повышается до 1 : 2, а на выходе – до 1 : 20.

Учитывая приведенные данные, можно предположить, что изучение состояния водной среды любой устьевой области неотъемлемо от рассмотрения устьевое взморья как части общего природного комплекса реки.

Таблица 9. Состояние устьевой области р. Енисей по приоритетным абиотическим параметрам

Пункт наблюдений	Абиотические параметры состояния							
	легкоокисляемые органические вещества		N аммония		доля антропогенного воздействия		степень антропогенного воздействия	
	модальный интервал концентраций, мг/л	состояние	модальный интервал концентраций, мг/л	состояние	модальный интервал значений, %	состояние	модальный интервал значений, %	состояние
г. Игарка 7.5 км выше города	1.40–2.40	Равновесное	н.о.–0.34	Равновесное	31–38	Равновесное	17–20	Кризисное
1 км ниже города	0.90–2.90	»	н.о.–0.91	Переходное от равновесного к кризисному	38–46	»	14–20	»
г. Дудинка 1 км выше города	0.30–2.70	Переходное от естественного к равновесному	н.о.–0.81	То же	31–50	»	11–20	»
10.5 км ниже города	0.20–2.90	То же	н.о.–0.69	Равновесное	36–50	»	11–20	»

ВЫВОДЫ

Анализ исходного массива данных по режимным гидрологическим и гидрохимическим наблюдениям ГСН на устьевом участке р. Енисей позволил выявить региональные закономерности многолетних внутри- и межгодовых изменений гидролого-экологического состояния реки и оценить степень и характер загрязненности водной среды.

Установлено, что причиной возможного возникновения неблагоприятных экологических ситуаций в придельтовом участке устьевой области служит периодическое превышение значений ПДК по содержанию химических веществ в водной среде, в частности нефтепродуктов (кратность превышения ПДК – 49–97 у г. Игарка и 27–43 у г. Дудинка), фенолов (35–73 и 16–40), а также соединений Cu (29–33 и 37–39) и соединений Fe (≥ 20 и ≥ 15 соответственно).

Отчетливо проявляется также тенденция накопления в водной среде Енисейской устьевой области минеральных форм N и P. Такой режим биогенных веществ характерен для мезотрофных водных объектов с тенденцией нарушения природной сезонной закономерной изменчивости их концентрации.

Впервые выполнен расчет многолетней и внутригодовой изменчивости притока растворенных химических веществ на придельтовый участок устьевой области р. Енисей у городов Игарка и Дудинка. Установлено, что наибольший приток хими-

ческих веществ наблюдается по легкоокисляемым органическим веществам, N аммония и нефтепродуктам. Широкий диапазон колебаний значений объемов притока химических соединений обусловлен не только изменчивостью объемов водного стока, но и значительной внутри- и межгодовой вариацией значений концентраций химических веществ в водной среде. Кроме того, среднееголетние объемы притока нефтепродуктов, фенолов, соединений Fe, Cu и Zn на устьевой участок у г. Игарка в 2–9 раз превышают допустимые по ПДК объемы. Выявлено, что в весенний период (начало вегетации) могут поступать N- и P-содержащие соединения в объемах, значительно превышающих их естественный природный фон, что оказывает неблагоприятное воздействие на скорость и направленность внутрисистемных продукционно-деструкционных процессов. Такая стрессовая ситуация в экосистеме может заметно повлиять на формирование и дальнейшее развитие гидробиоценоза и на качество водной среды.

Результаты расчета и сравнительной оценки межгодовой изменчивости модулей притока N аммония, легкоокисляемых органических веществ и нефтепродуктов показали, что устьевая экосистема р. Енисей испытывает наибольшую антропогенную нагрузку по нефтепродуктам. Показано, что при такой антропогенной нагрузке и степени загрязненности водной среды наметилась тенденция перехода экологического состояния водной среды устьевой области реки из равновесного к кризисному.

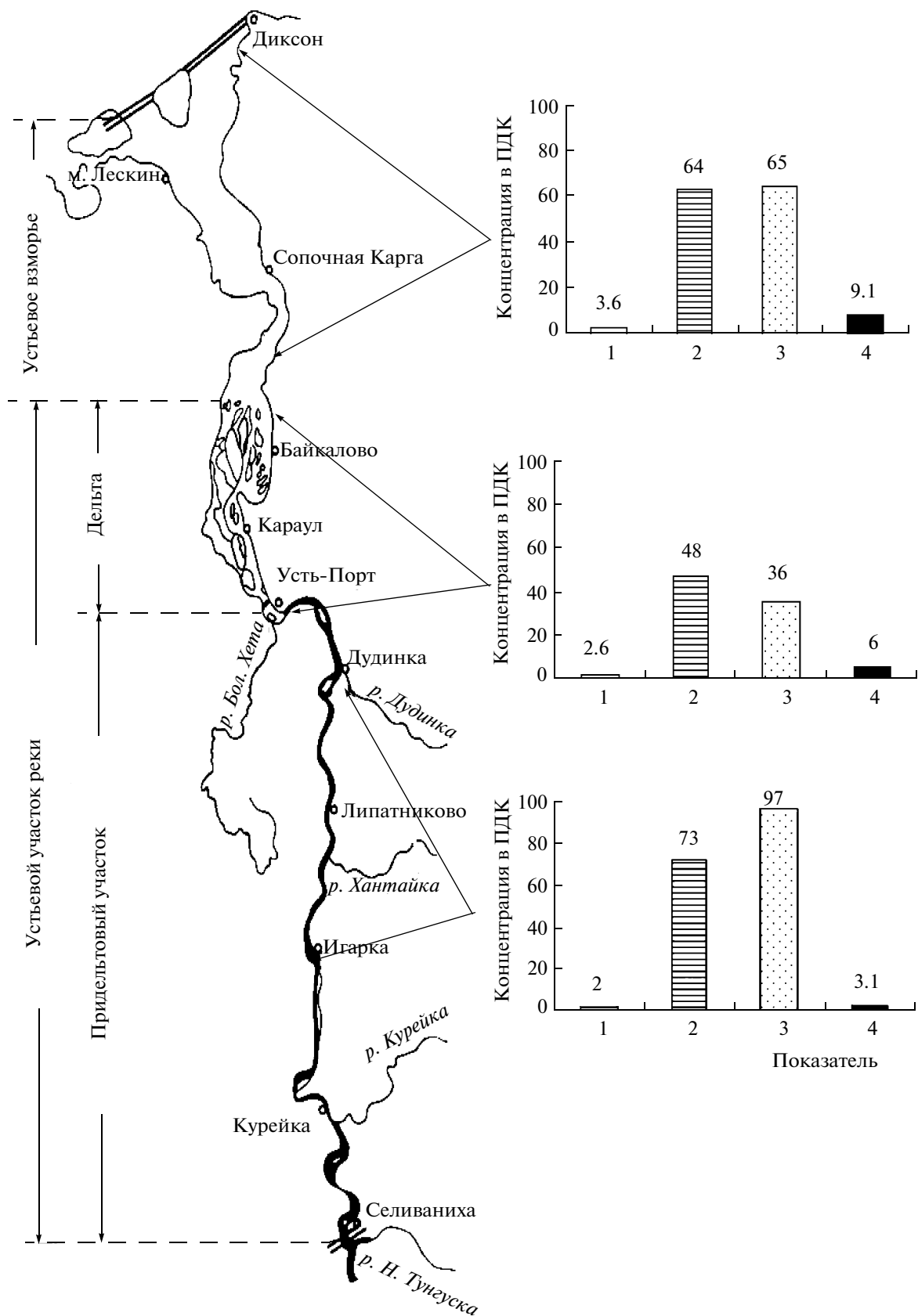


Рис. 1. Кратность превышения ПДК по ЗВ на отдельных участках Енисейской устьевой области. 1 – N нитритов (ПДК 0.020 мг/л), 2 – фенолы (ПДК 0.001 мг/л), 3 – нефтепродукты (ПДК 0.05 мг/л), 4 – СПАВ (ПДК 0.100 мг/л).

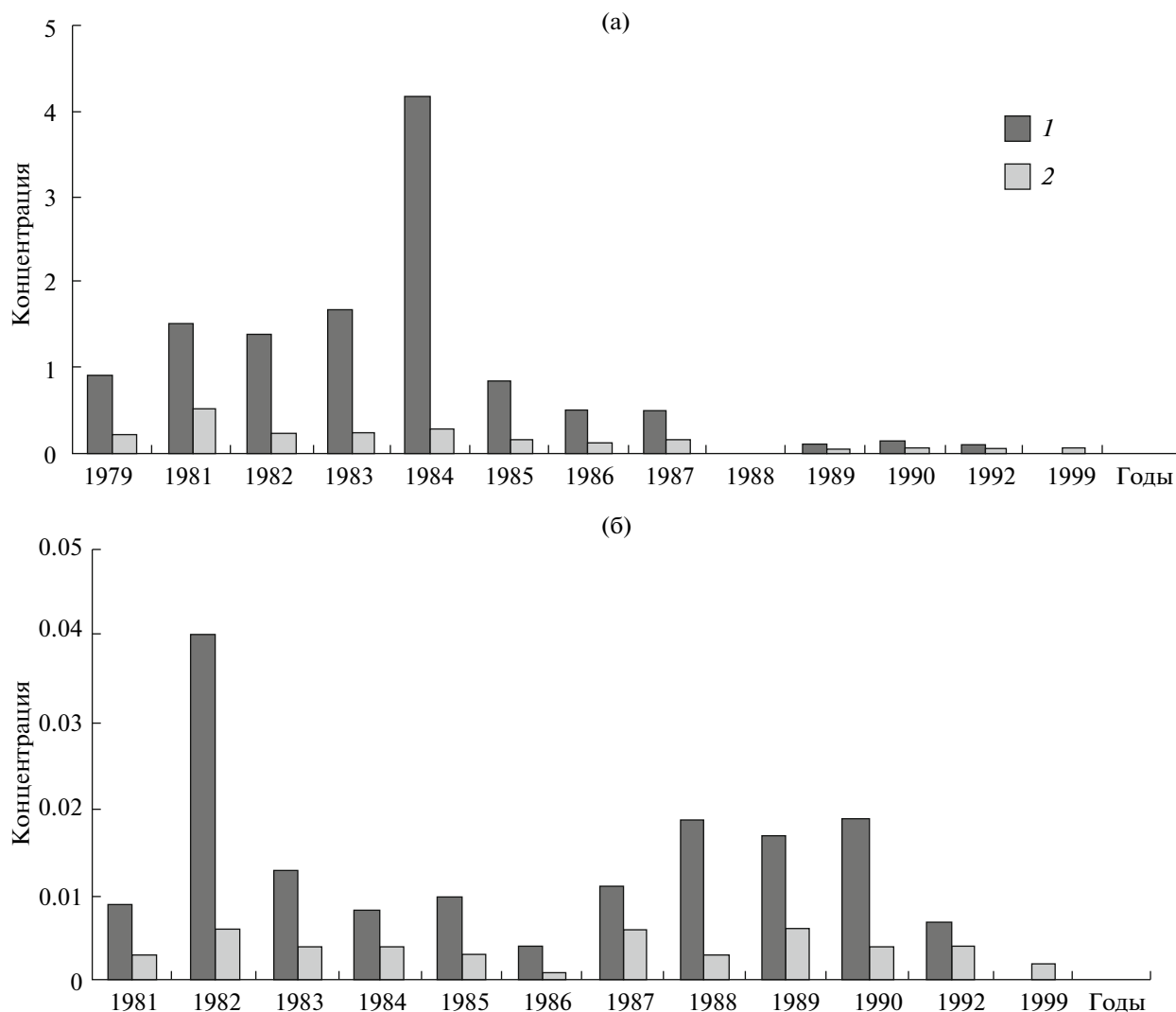


Рис. 2. Межгодовая изменчивость максимальных 1 и среднегодовых 2 концентраций, мг/л, в водной среде Енисейского зал. нефтепродуктов (а) и фенолов (б).

Столь высокая изменчивость антропогенной нагрузки на придельтовый участок устьевой области р. Енисей предопределяет отрицательное воздействие речного стока на устьевое взморье.

По данным за 1977–1986 гг. на всех исследуемых разрезах устьевого взморья периодически наблюдались аномально высокие концентрации ЗВ. Последние достигали в отдельные годы 40–64 ПДК по фенолам и 23–65 ПДК по нефтепродуктам.

С 1981 по 1999 г. качество водной среды Енисейского зал. в целом оставалось переходным от грации грязная к загрязненная.

С экологической точки зрения изучение пространственно-временной изменчивости притока растворенных химических веществ, особенно ЗВ и биогенных соединений, в устья рек имеет принци-

пиально важное значение для оценки возможного их выноса в арктические моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов В.А. Экологические модификации и критерии экологического нормирования // Тр. междунар. симпоз. "Экологические модификации и критерии экологического нормирования" Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 18–41.
2. Брызгалов В.А., Иванов В.В. Сток растворенных веществ на замыкающих створах рек бассейнов арктических морей России. Многолетняя и сезонная изменчивость // Экол. химия. 2000. № 9. С. 76–89.
3. Гидрохимические бюллетени (Материалы наблюдений за загрязненностью вод на территории деятельности Диксонского УГМС). Диксон, 1977–1986 гг. 17–40 с.

4. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Т. 1. Вып. 12. 1980–2005. 414 с.
5. Ежегодники качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1986–1999 гг. Обнинск; СПб.: Гидрометеиздат, 1987–2000 г. 72–112 с.
6. *Загрязнение Арктики*. Доклад о состоянии окружающей среды Арктики. Программа арктического мониторинга и оценки. СПб.: АПАМ, 1998. 188 с.
7. *Израэль Ю.А.* Арктика и экологически устойчивое развитие // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия. Апатиты: Изд-во Кольск. НЦ РАН, 1999. С. 7–16.
8. *Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А.* Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов-на-Дону: НОК, 2007. 280 с.
9. РД 52.24.508-96. Организация и функционирование подсистемы мониторинга состояния трансграничных поверхностных вод суши. М.: Метеоагентство Росгидромета, 1999. 44 с.
10. РД 52.24.661-2004. Рекомендации. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 25 с.
11. *Gordeev V.V., Andreeva E.N., Lisitzin A.P.* et.al. Russian Arctic Basins // LOICZ Reports & Studies. 2006. № 29. P. 57–58.