

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ЛЕНЫ

© 2011 г. А. М. Никаноров*, В. А. Брызгалов*, * Л. С. Косменко**, О. С. Решетняк**

* Гидрохимический отдел Института водных проблем Российской академии наук

** Гидрохимический институт

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

Поступила в редакцию 10.08.2009 г.

Рассмотрена изменчивость гидролого-гидрохимического состояния водной среды устьевой области р. Лены. Подробно описан гидрологический режим реки, изменчивость компонентного состава воды устьевой области. Приведена оценка антропогенной нагрузки как по притоку, так и по модулю притока загрязняющих веществ.

Ключевые слова: устьевая область р. Лены, изменчивость гидрохимического режима, антропогенная нагрузка, биогенные элементы, загрязняющие вещества.

УСТЬЕВАЯ ОБЛАСТЬ ЛЕНЫ КАК ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

Устьевая область р. Лены представляет собой “особый физико-географический объект, охватывающий район впадения реки в приемный водоем” [19]. В состав устьевой области, как правило, входит “часть нижнего течения реки (устьевой участок), включая дельту ... и часть прибрежной зоны приемного водоема (устьевое взморье)” [20]. Устьевая область реки относится к дельтовому типу. Дельта Лены занимает от 28 до 32 тыс. км².

Как и многие другие устья, это – район, характеризующийся “специфическим, часто аazonальным ландшафтом, переходным гидрологическим режимом, резким изменением физических, химических и биологических свойств водных масс, повышенной биологической продуктивностью и представляющий собой седиментологический, морфологический, геохимический и гидробиологический барьер между рекой и приемным водоемом” [20].

Границы устьевой области реки выделяются по активному проявлению устьевых процессов [13]. Схема устьевой области Лены приведена на рисунке, структура и границы – в табл. 1.

Речная (верхняя) граница устьевой области определяется по месту, где начинается разветвление русла реки на дельтовые рукава (протоки), т.е. по о. Тит-Ары. Данный остров, а также исток первого левого дельтового рукава – Булкурской протоки считают вершиной дельты Лены. Это место находится в зоне сопряжения суженного (9 км) участка нижнего течения Лены (“Ленской трубы”) и воронкообразного расширения долины у о. Тит-Ары (175 км от устьевого створа судоходной Быковской протоки) [12, 19]. Выше вершины сгонно-нагонные

колебания уровня не распространяются, поэтому дельтовый и устьевой участок Лены совпадают.

Морская (нижняя) граница устьевой области реки (внешняя граница устьевого взморья) обычно выделяется по предельной дальности распространения в море внешней (мористой) части зоны смешения речных и морских вод [13, 19].

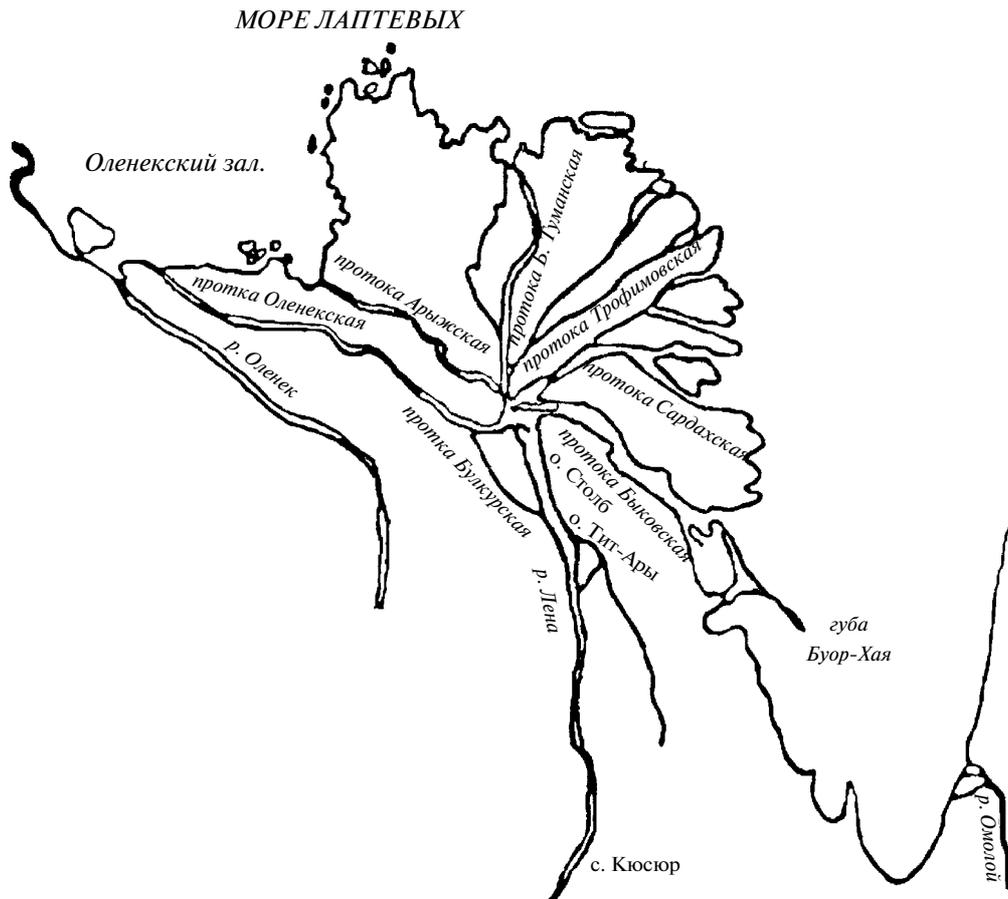
В районе скалистого о. Столб находится основной узел разветвления Лены на крупные дельтовые рукава: протоки Оленекскую, Туматскую, Трофимовскую и Быковскую. Трофимовская протока – продолжение главного русла реки (рисунок).

Площадь дельты Лены с вершиной в месте ответвления левой Булкурской протоки (около о. Тит-Ары) составляет 32 тыс. км², с вершиной у о. Столб – 28 тыс. км². Длина дельты по разным направлениям в среднем ~ 150 км [19, 26].

Гидрографическая сеть дельты Лены очень сложная, с большим количеством протоков и озер. Она включает в себя 6089 водотоков общей длиной 14626 км, 58728 озер общей площадью 3196 км². В дельте >1600 островов, густота русловой сети в восточной части дельты – 0.34 км/км², в западной – 0.13 км/км² [19].

Река Лена течет в однорукавном русле шириной 2 км от замыкающего створа у с. Кюсюр до о. Тит-Ары.

Большая площадь дельты, ее вытянутость в меридиональном направлении (благодаря чему она глубоко вдается в море Лаптевых) и неравномерное распределение по ее площади теплового стока р. Лены создают значительные микроклиматические различия в ее районах [8]. Устьевую область Лены можно определить как особый географиче-



Карта-схема устьевой области р. Лены [1].

ский объект, охватывающий район впадения реки в море Лаптевых, существующий в определенных границах и находящийся под влиянием специфических устьевых процессов, основу которых составляют “динамическое взаимодействие, смешение и трансформация водных масс реки и приемного водоема, отложения и переотложения речных и частично морских наносов” [20].

На устьевом участке преобладает речной гидрологический режим, но на него оказывает влияние приемный водоем — море. На устьевом взморье, наоборот, преобладает гидрологический режим, свойственный приемному водоему (морю), но на него активно влияет река. Интенсивность влияния приемного водоема на речной режим и речного стока — на режим моря убывает соответственно вверх по реке и в сторону моря от устьевых створов. Как и все устьевые области в целом, рассматриваемый участок реки в значительной степени подвержен воздействию таких континентальных факторов как сток загрязненных речных вод и хозяйственная деятельность человека.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ЛЕНЫ

Гидрологический режим устьевой области р. Лены в значительной степени определяется особенностями водного режима реки, который характерен для рек восточно-сибирского типа и имеет растянутое снеговое половодье и дождевые паводки. Питание реки в нижнем течении смешанное с преобладанием снегового.

Уровень воды в устьевой области значительно варьирует — в среднем от 23.2 м у с. Кюсюр до 9.0 м у истока Быковской протоки (о. Столб) и 2.9 м в зал. Неелова [10, 19].

Среднегодовое водное количество на замыкающий створ реки у с. Кюсюр (площадь водосбора 2430 тыс. км²) достигает 536 км³. С 1980 по 2005 г. наибольший объем притока достигал 728 км³ (1989 г.), а наименьший — 400 км³ (1986 г.).

Водный сток в течение года распределен очень неравномерно: ~60–70% его приходится на долю четырех месяцев (с июня по сентябрь). Самые многоводные месяцы — июнь (36.4%) и июль (20%) [12, 14, 19].

Таблица 1. Структура устьевой области р. Лены [1] (здесь и в табл. 5 прочерк — отсутствие данных)

Объект	Пост, створ и его название	Расстояние, км	
		от нуля километража реки (устье)	от речной границы устьевой области
Устьевой участок р. Лены			
Р. Лена	с. Кюсюр, замыкающий створ	211	0
Р. Лена	пос. Тит-Ары, (вершина дельты), речная граница устьевой области	49	162
Р. Лена	4.7 км выше о. Столб, дельта	4.7	206
Оленекская протока	г/с Оленекский, морской край дельты	190	241
Оленекская протока	п.ст. Олимпийская	190	434
Быковская протока	Полярная ст. Хабарова, дельта	0	214
Трофимовская протока	г/с Трофимовская, морской край дельты	128	216
Туматская протока	г/с Туматская, морской край дельты	145	224
Антипинская протока	Полярная ст. Сагыллах-Ары, морской край дельты	6.0	336
Протока Исполатова	Полярная ст. Малышева, дельта	17	299
Устьевое взморье р. Лены			
Губа Буор-Хая	о. Муостах	—	8
Бух. Тикси	пос. Тикси	—	379

В целом за многолетний период характер внутригодовой изменчивости стока речных вод не изменился. В Трофимовскую протоку поступает основной поток воды (>50%) [14, 19, 26]. В Быковской протоке распределение долей водного стока в половодье, летнюю и зимнюю межень равномерное (28, 25 и 24% соответственно). В Трофимовской протоке доля водного стока снижается с ростом уровня воды от 70% в зимнюю межень до 54% в половодье. Доля водного стока Оленекской и Туматской проток возрастает с повышением уровня от межени к половодью [19, 26].

Сток взвешенных наносов Лены у с. Кюсюр за 1934–1981 гг. составил в среднем 2.4 млн. т/год [17]. Сток наносов распределен в году еще более неравномерно, чем сток воды. На июнь и июль приходится соответственно 59 и 42% годового стока наносов. Мутность воды р. Лены очень мала, у с. Кюсюр она в среднем равна 40 г/м³ с максимумом в половодье до 400 г/м³. В дельте мутность воды еще меньше — в среднем 21–24 г/м³ [19]. Распределяется сток наносов между рукавами дельты приблизительно пропорционально распределению стока воды [18].

Для устьевой области Лены характерны заторные явления, приводящие к заторным повышениям уровня воды [4, 5, 15]. Образование заторов при вскрытии арктических рек может привести к опасным гидрологическим явлениям — резким повышениям уровня воды и наводнениям. Важнейшие характеристики этих процессов — повторяемость заторов и заторный подъем уровней воды [4]. Эти характеристики — наибольшие для устьевой обла-

сти р. Лены по сравнению с остальными низовьями арктических рек: повторяемость заторов — 100%, заторный уровень — 24.4 м [4].

Естественные изменения режима дельты Лены могут быть связаны прежде всего с изменениями морфологического строения рукавов и перераспределением стока между ними. Одна из причин антропогенного воздействия на гидрологический режим дельты — выправление русел для целей судоходства, в том числе и дноуглубительные работы на отдельных перекатных и баровых участках дельты [16, 17, 25].

АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УСТЬЕВУЮ ОБЛАСТЬ Р. ЛЕНЫ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Огромная, хорошо развитая дельта р. Лены — мощный аккумулятор различных химических веществ, в том числе загрязняющих (ЗВ). В устьевой зоне реки происходит осаждение большого количества взвешенных и влекомых частиц и, следовательно, всех тех веществ, которые транспортировались по реке вместе с ними. В результате смешения речных и морских вод происходит переход различных химических веществ из растворенного состояния во взвешенное и наоборот [8, 11].

Эти процессы способствуют очищению речной воды от разнообразных ЗВ и препятствуют поступлению их в море. Однако определенная часть этих веществ остается в водной среде устья, где и происходит их постепенное накопление. Окисление и полная трансформация ЗВ в устьевой области р. Ле-

ны значительно замедляются суровым термическим режимом и мощным ледовым покровом в зимний период, затрудняющим аэрацию воды.

Внешнее антропогенное воздействие на водосборе устьевой области по характеру и длительности довольно значительно. Основные источники ЗВ [1, 22] на этом участке реки — перенос (включая и трансграничный) ЗВ в пылевой фазе атмосферными потоками, доставка морскими течениями, поступление с речным стоком из бассейна Лены, деятельность транспорта и эксплуатация инженерных сооружений.

На водосборе реки — участке в 1527 км (с. Табага) до устья — наибольшее влияние на состояние водной среды оказывают сточные воды таких объектов-водопользователей как Акционерная компания (АК) “Алмазы России — Саха”, Акционерная судходная компания “Ленское объединенное речное пароходство”, АК “Якутскэнерго” [7].

В настоящее время наибольшую опасность для водной экосистемы устьевой области Лены представляет загрязнение водной среды и донных отложений нефтепродуктами. Из всех видов нефтяного загрязнения, воздействующих на исследуемый участок, наиболее значительны эксплуатационные сбросы с судов.

Нефтепродукты присутствуют не только в виде пленки на акватории устьевой области, но и в растворенной и эмульгированной формах, а также — в сорбированной (на твердых частицах взвешенных веществ и донных осадков). Донные отложения — своеобразный накопитель ЗВ, в том числе и нефтепродуктов [23].

Учитывая изложенное выше, следует ожидать, что сформировавшийся характер загрязненности устьевой области р. Лены носит комбинированный характер. Происходит наложение промышленного, бытового и нефтяного загрязнений, что оказывает заметное влияние на пространственно-временную изменчивость компонентного состава водной среды.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ЛЕНЫ

Для изучения пространственно-временной изменчивости компонентного состава водной среды использовали многолетнюю режимную гидрохимическую информацию Государственной службы наблюдения за состоянием окружающей среды (ГСН) [6, 7].

На формирование химического состава водной среды устьевых областей рек оказывает влияние [22] 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.

Их суммарный эффект находит свое отражение по всей длине рек вплоть до замыкающих створов. Поэтому речной перенос следует рассматривать как источник и местного, и регионального распространения ЗВ, который в настоящее время — определяющий фактор изменчивости гидрохимического режима не только низовьев рек, но и эстуариев и прибрежных частей морских акваторий.

N- и P-содержащие соединения

Анализ многолетней информации сети ГСН по содержанию в водной среде устьевой области р. Лены минеральных форм N и P показал высокую пространственно-временную изменчивость их концентраций (табл. 2—4).

Проведенная сравнительная оценка диапазонов колебаний концентраций соединений биогенных элементов за многолетний период с 1980 по 2007 г. показала, что на замыкающем створе реки (с. Кюсюр), в дельте (полярная ст. Хабаровова) и в зал. Неелова (пос. Тикси) их максимальные значения достаточно различались. Так, диапазон колебаний концентраций N аммония у с. Кюсюр (ниже предела обнаружения (н.о.)—0.64 мг N/л) шире, чем в дельте (н.о.—0.41 мг N/л) и зал. Неелова (0.01—0.15 мг N/л).

Если по содержанию N аммония и P фосфатов наблюдается тенденция снижения от замыкающего створа к заливу, то для N нитратов характерно повышение. Концентрация N нитратов варьировала у с. Кюсюр от н.о. до 0.40 мг N/л, в дельте — от н.о. до 0.30 мг N/л и в зал. Неелова — от 0.02 до 0.54 мг N/л. Максимальные концентрации N нитритов (0.048 мг N/л) и P общего (0.394 мг P/л) зафиксированы в дельте устьевой области.

Выполненные в 1980—1994 гг. [9] наблюдения за пространственной изменчивостью содержания в водной среде устьевого взморья N аммония показали еще более высокие его различия между губой Буор-Хая (н.о.—0.01 мг N/л) и бух. Тикси (н.о.—0.46 мг N/л). Характер внутригодовой изменчивости максимальных концентраций N- и P-содержащих соединений принципиально различается по акватории устьевой области Лены. По данным авторов накопление N аммония на замыкающем створе реки отмечено в мае—июне, в дельте — в мае—августе, а в зал. Неелова — в октябре.

Как показано ранее [2, 3, 22], нарушение природной сезонной изменчивости и пространственно-временной неоднородности концентраций биогенных элементов в водной среде обусловлено преобладающей ролью антропогенного фактора в формировании их режима.

За исследуемый период отчетливо проявляется тенденция периодического накопления в водной среде N аммония до концентраций, превышающих

Таблица 2. Изменчивость показателей компонентного состава водной среды на замыкающем створе у с. Кюсюр (1980–2007 гг.) (здесь и в табл. 3, 4 н.о. – ниже предела обнаружения; в скобках – частота обнаружения)

Ингредиенты (ПДК), мг/л	Диапазон колебания концентрации, мг/л		Кратность превышения максимальных концентраций	
	общий	НЧВ	по ПДК	по максимальным значениям НЧВ
Сумма ионов(1000)	27.5–363	50.8–148 (70)	<1	2.5
Взвешенные вещества	н.о.–270	н.о.–19.6 (80)	<1	14
Кремнекислота	0.20–8.00	0.20– 3.00 (88)	<1	2.7
Соединения Mg (40)	0.10–30.0	0.10– 10.0 (93)	<1	3.0
Хлориды (300)	0.60–90.0	0.60–20.2 (79)	<1	4.5
Сульфаты (100)	0.90–67.3	0.90–20.0 (66)	<1	3.4
Растворенный кислород	6.20–16.3	10.0–14.0 (76)		
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅ (2.0)	0.20–7.10	1.05–2.50 (60)	3.6	2.8
Бихроматная окисляемость	0.50–63.4	0.50–29.8 (93)	<1	2.1
N аммония (0.39)	0.01–0.64	0.01–0.10 (80)	1.6	6.4
N нитритов (0.020)	н.о.–0.022	н.о.–0.005 (84)	1.1	4.4
N нитратов (9.0)	н.о.–0.40	н.о.–0.05 (70)	<1	8.0
P фосфатов (0.20)	н.о.–0.047	н.о.–0.010 (83)	<1	4.7
P общий	н.о.–0.146	н.о.–0.030 (85)	<1	4.9
Фенолы (0.001)	н.о.–0.040	н.о.–0.005 (82)	40.0	8.0
Нефтепродукты (0.05)	н.о.–0.49	н.о.–0.10 (80)	10.0	5.0
СПАВ (0.10)	н.о.–0.07	н.о.–0.02 (75)	<1	3.5
Fe общее (0.10)	0.01–2.07	0.01–0.50 (66)	21.0	4.1
Соединения Cu (0.001)	н.о.–0.043	н.о.–0.010 (69)	43.0	4.3
Соединения Zn (0.010)	н.о.–0.059	н.о.–0.020 (72)	6.0	3.0

предельно-допустимые экологические концентрации (ПДЭК), условно принятые для эвтрофных водоемов [24]. Основная причина такой трансформации режима N- и P-содержащих соединений – преобладание процессов минерализации поступающих органических веществ над процессами потребления биогенных элементов.

Приоритетные ЗВ

В условиях, когда антропогенный фактор играет существенную роль в формировании компонентного состава водной среды экосистемы, среди системообразующих параметров состояния ее абиотической компоненты приоритетными являются такие химические показатели, концентрации которых с достаточной частотой повторяемости превышают ПДК и для которых формируется новый “антропогенно-измененный природный фон” (определяемый по интервалу наиболее часто встречаемых величин (НЧВ) значений концентраций) [21].

На исследуемых участках устьевой области р. Лены максимальная кратность превышения ПДК (табл. 2–4) на замыкающем створе достигала по фенолам 40 раз и по соединениям Cu – 43 раза; в вершине дельты у полярной ст. Хабаровова по нефтепродуктам – 25, соединениям Cu – 29 и соединениям Fe – 32 раза.

Для зал. Неелова у пос. Тикси отмечается тенденция снижения максимальной кратности превышения ПДК по перечисленным выше соединениям и периодического накопления в водной среде хлоридов до 3.5 ПДК, N нитритов – до 3.1 ПДК, суммы ионов – до 1.9 ПДК и соединений Mg – до 1.7 ПДК.

Такое накопление в водной среде соединений биогенных элементов и приоритетных ЗВ до концентраций, превышающих установленные ПДК, приводит к формированию нового антропогенно измененного природного фона по этим показателям. При этом нарушается естественное экологическое состояние устьевой области, при котором может изменяться не только трофический статус водной экосистемы, но и ее экологическая емкость.

Таблица 3. Изменчивость показателей компонентного состава водной среды в вершине дельты у полярной ст. Хабарова (1980–2007 гг.)

Ингредиенты (ПДК), мг/л	Диапазон колебания концентрации, мг/л		Кратность превышения максимальных концентраций	
	общий	НЧВ*	по ПДК	по максимальным значениям НЧВ
Сумма ионов (1000)	16.0–496	52.3–148 (60)	<1	3.4
Взвешенные вещества	н.о.–369	н.о.–20.0 (81)	<1	18.0
Кремнекислота	0.10–11.5	0.10–4.00 (94)	<1	2.9
Соединения Mg (40)	0.20–32.5	0.20–10.0 (78)	<1	3.3
Хлориды (300)	4.30–227	4.30–94.5 (96)	<1	2.4
Сульфаты (100)	0.30–107	0.30–39.8 (82)	1.1	2.7
Растворенный кислород	3.43–18.8	9.02–13.0 (73)		
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅ (2.0)	0.05–10.4	0.51–1.50 (61)	5.2	6.9
Бихроматная окисляемость	0.90–186	0.90–2.8 (94)	<1	6.2
N аммония (0.39)	н.о.–0.41	0.01–0.05 (64)	1.1	8.2
N нитритов (0.020)	н.о.–0.048	н.о.–0.005 (71)	2.4	9.6
N нитратов (9.0)	н.о.–0.30	н.о.–0.005 (63)	<1	6.0
P фосфатов (0.20)	н.о.–0.080	н.о.–0.010 (65)	<1	8.0
P общий	н.о.–0.394	н.о.–0.030 (78)	<1	13.0
Фенолы (0.001)	н.о.–0.015	н.о.–0.004 (89)	15.0	3.8
Нефтепродукты (0.05)	н.о.–1.26	н.о.–0.10 (85)	25.0	13.0
СПАВ (0.10)	н.о.–0.14	н.о.–0.03 (91)	1.4	4.6
Fe общее (0.10)	0.01–3.16	0.01–0.50 (90)	31.6	6.3
Соединения Cu (0.001)	н.о.–0.029	н.о.–0.009 (75)	29.0	3.2
Соединения Zn (0.010)	н.о.–0.054	н.о.–0.014 (74)	5.4	3.9

Сравнительная оценка антропогенно измененного природного фона за изученный период показала изменчивость накопления в водной среде исследуемых ингредиентов от замыкающего створа реки до зал. Неелова. Кратность превышения максимальных значений общего диапазона колебания концентраций и НЧВ повышалась от реки к заливу по сумме ионов от 2.5 до 15 раз, соединениям Mg – от 2.7 до 10, хлоридам – от 4.5 до 63, P фосфатов – от 3.5 до 11; к вершине дельты по взвешенным веществам – до 18 и P общему – до 13 раз (табл.2–4).

Многие из перечисленных выше соединений следует считать приоритетными ЗВ для устьевой области Лены. К основным закономерностям изменчивости компонентного состава водной среды данного участка реки можно отнести пространственную неоднородность диапазонов колебания концентраций определяемых химических соединений, заметную межгодовую изменчивость диапазонов колебания концентрации N аммония, нефтепродуктов и синтетических поверхностноактивных веществ, высокую загрязненность всех исследуемых участков нефтепродуктами (5.2–25 ПДК), соедине-

ниями Cu (16–43 ПДК) и фенолами (8–40 ПДК), характерную зависимость концентрации фенолов от гидрологических особенностей.

В начале весеннего половодья концентрация фенолов чаще не превышает 0.001 мг/л. Однако с повышением водности реки увеличивалось и их содержание. Это связано со смывом с водосбора большого количества органических веществ, в том числе остатков хвойной растительности [8]. В период половодья и паводков концентрация фенолов нередко превышала 0.010 мг/л, а в районах сброса сточных вод – еще выше. В более отдаленных от акватории морского порта районах в губе Буор-Хая содержание фенолов в среднем не превышает 0.002 мг/л [8].

АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА УСТЬЕВУЮ ОБЛАСТЬ Р. ЛЕНЫ

Устьевая область р. Лены подвержена влиянию внешнего природного и антропогенного воздействия, в том числе и поступлению в значительных количествах ЗВ с речным стоком. Поэтому речной приток ЗВ – один из определяющих факторов из-

Таблица 4. Изменчивость показателей компонентного состава водной среды зал. Неелова (пос. Тикси) за 1993–2000 гг.

Ингредиенты(ПДК), мг/л	Диапазон колебания концентрации, мг/л		Кратность превышения максимальных концентраций	
	общий	НЧВ*	по ПДК	по максимальным значениям НЧВ
Сумма ионов (1000)	35.5–1860	35.5–126 (62)	1.9	15.0
Взвешенные вещества	1.2–110	1.2–18.9 (70)	<1	5.8
Кремнекислота	0.40–8.4	0.50–2.9 (73)	<1	2.9
Соединения Mg (40)	0.50–70.0	2.1–6.7 (65)	1.7	10.0
Хлориды (300)	3.1–1050	3.1–16.8 (62)	3.5	63.0
Сульфаты (100)	6.3–64.2	6.3–27.2 (68)	<1	2.4
Растворенный кислород	5.74–14.5	8.1–12.2 (85)		
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅ (2.0)	0.10–5.95	0.41–1.46 (68)	3.0	4.1
Бихроматная окисляемость	7.1–47.5	11.0–29.8 (71)	<1	1.6
N аммония (0.39)	0.01–0.15	0.01–0.10 (85)	<1	1.5
N нитритов (0.020)	н.о.–0.062	0.001–0.016 (82)	3.1	3.9
N нитратов (9.0)	0.02–0.54	0.02–0.10 (82)	<1	5.4
P фосфатов (0.20)	н.о.–0.098	0.001–0.009 (56)	<1	11.0
P общий	0.003–0.100	0.005–0.040 (82)	<1	2.5
Фенолы (0.001)	н.о.–0.008	0.001–0.003 (68)	8.0	2.7
Нефтепродукты (0.05)	н.о.–0.26	0.04–0.10 (65)	5.2	2.6
СПАВ (0.10)	н.о.–0.06	0.01–0.03 (76)	<1	2.0
Fe общее (0.10)	0.03–1.28	0.12–0.81 (76)	13	1.6
Соединения Cu (0.001)	н.о.–0.013	0.001–0.005 (79)	13	2.6
Соединения Zn (0.010)	н.о.–0.034	0.007–0.021 (56)	3.4	1.6

менчивости гидрохимического режима устьевых областей рек [2, 3, 22]. Расчет и анализ данных о многолетних (1980–2007 гг.) и сезонных изменениях притока растворенных химических веществ на замыкающий створ реки (с. Кюсюр) и в Быковскую протоку к вершине дельты (полярная ст. Хабарова) показали, что физический перенос по реке многих растворенных веществ, в том числе ЗВ, преобладает над процессами их химико-биологической трансформации и заметные количества ЗВ поступают на устьевой участок и в дельту.

Сравнительный анализ притока приоритетных ЗВ выявил, что как на замыкающем створе, так и в вершине дельты наибольший приток имеет место по соединениям Si (до 2284 и 2652), легкоокисляемым органическим веществам (до 1615 и 1137), соединениям Fe (до 685 и 293 тыс. т в год соответственно) (табл. 5, 6).

За исследуемые временные отрезки средние величины притока перечисленных выше соединений сохраняются довольно высокими и в начале нового тысячелетия. На этих же участках в последние годы отмечается тенденция увеличения притока и по со-

единениям P. Причем на замыкающем створе происходит еще и увеличение притока нефтепродуктов на фоне незначительного снижения притока фенолов, соединений Cu и Fe. А в дельте устьевой области отмечается увеличение притока минеральных форм N на фоне уменьшения притока фенолов, нефтепродуктов, соединений Zn и Fe (табл. 5, 6).

Если сравнить диапазон колебания среднегогодового притока химических веществ с допустимыми по ПДК объемами (табл. 7), то можно отметить, что максимальные значения притока приоритетных ЗВ превышают допустимые по фенолам в 3.5–8.5 раза на замыкающем створе реки и в 2.3–4.1 раза в дельте, по соединениям Fe в 4.6–12.8 и 2.4–5.8 раза, по соединениям Cu в 4.5–13.5 и 4.3–14.8 раза соответственно.

Оценку антропогенной нагрузки на устьевую область реки можно провести не только по притоку ЗВ, но и по их модулю притока. Расчет многолетней изменчивости модулей притока N аммония, легкоокисляемых органических веществ и нефтепродуктов и их сравнение с классификатором антропогенной нагрузки (табл. 8), разработанным авторами

Таблица 5. Временная изменчивость (1980–2007 гг.) притока приоритетных химических веществ на замыкающий створ р. Лены у с. Кюсюр (здесь и в табл. 6 n – число лет, за которые имеются данные по притоку)

Ингредиент	Приток химических веществ, тыс. т/год											
	общий диапазон колебания	средне-много-летних	диапазон колебания 1980–1984 гг.	средний за период	диапазон колебания 1985–1989 гг.	средний за период	диапазон колебания 1990–1994 гг.	средний за период	диапазон колебания 1995–1999 гг.	средний за период	диапазон колебания 2000–2007 гг.	средний за период
N аммония	10.1–98.0	40.9	61.7–73.8 $n=2$	66.7	23.68–72.0	51.0	10.1–62.7	27.3	10.2–98.0	41.1	20.2–49.1	33.2
N нитритов	0.43–4.46	1.95										2.46
N нитратов	13.7–56.0	26.6	13.7–24.1 $n=2$	18.9	13.7–56.0	35.9	15.2–32.1	23.6	18.4–43.7	28.7	16.1–38.8	23.3
P фосфатов	1.20–7.90	3.71	0.31 $n=1$	–	1.2–7.90	3.63	1.5–6.42	3.93	1.8–4.24	3.28	2.67–5.36	3.88
P общий	3.67–33.3	11.0	7.85 $n=1$	–	4.17–16.3	7.68	6.08–11.8	8.50	3.67–11.4	8.43	8.21–20.0	18.22
Кремнекислота	529–2284	1095	543.9 $n=1$	–	529–1500	919	803–1052	943	671–2284	1293	549–1990	1234
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅	350–1615	1112	350–614.9	1190.3	612.0–1164.7	920.1	708.5–802.5	767.3	1035.2–1395.4	1208.9	1144.7–1621.1	1327.4
Фенолы	0.22–4.56	1.89	0.22–1.17	0.76	0.88–4.37	2.31	1.5–4.56	2.97	1.02–2.65	2.05	1.07–1.67	1.39
Нефтепродукты	2.54–102	40.5	26.2–35.9	34.7	12.0–39.5	23.2	2.54–48.2	25.4	15.3–102.1	50.3	23.6–80.8	54.8
Fe (общее)	15.7 – 685	246	15.7–685	266.4	180.8–355	271	129.5–308.5	242.7	53.5–424.0	288.6	85.8–385	187.4
Соединения Cu	0.76– 7.29	2.44	2.72–4.22	3.38	0.76–2.84	1.67	1.15–5.31	2.39	1.37–7.29	3.20	1.71–3.36	2.09
Соединения Zn	0.75–15.5	5.91	6.28–15.5	11.1	2.56–9.72	5.68	0.75–10.1	6.00	2.45–12.4	5.60	1.93–7.75	4.26
Водный сток, км ³	400–728	536.7	523– 595	566	400–728	538	482–535	510	486–612	542	483–646	535

Таблица 6. Временная изменчивость (1980–2007 гг.) притока приоритетных химических веществ в вершину дельты устьевой области р. Лены у полярной ст. Ха-барова

Ингредиент	Приток химических веществ, тыс. т/год											
	общий диапазон колебания	средне-много-летний	диапазон колебания 1980–1984 гг.	средний за период	диапазон колебания 1985–1989 гг.	средний за период	диапазон колебания 1990–1994 гг.	средний за период	диапазон колебания 1995–1999 гг.	средний за период	диапазон колебания 2000–2007 гг.	средний за период
N аммония	0–55.4	28.4	0–43.1	20.5	14.2–47.8	30.7	11.4–22.8	16.2	19.7–55.4	36.7	21.8–53.0	33.3
N нитритов	0–5.02	2.43	0–3.61	2.47	0.79–2.28	1.56	0.47–2.07	1.26	0.49–4.87	2.74	2.13–5.02	3.47
N нитратов	5.90–78.5	34.7	12.9–61.8	41.6	24.0–36.9	30.5	22.7–31.9	28.0	5.9–43.4	32.7	19.3–78.5	39.4
P фосфатов	0.97–27.3	6.53	2.79–27.3	11.0	1.43–8.73	3.93	0.97–9.10	3.81	3.73–7.49	5.85	3.62–11.1	8.03
P общий	1.86–73.4	18.61	6.28–32.3	18.3	4.76–12.7	7.98	1.86–13.4	5.92	8.53–40.1	16.6	9.13–73.4	33.3
Кремнекислота	561–2652	1190	853–1046	937.5	561–1522	963	1067–1298	1175	563–2459	1391	639–2652	1344
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅	269–1137	575.1	837–1137	931	401–703	540	267–498	392	327–686	516	422–684.5	570
Фенолы	0.51–2.07	1.13	0.52–1.08	0.71	0.67–1.91	1.11	0.93–2.07	1.36	0.91–1.97	1.47	0.51–1.26	0.93
Нефтепродукты	17.3–72.4	38.5	17.3–46.4	30.5	17.5–51.2	28.3	22.7–72.4	58.4	26.1–63.0	38.3	25.9–53.2	39.1
Fe (общее)	50.1–293	120.1	62.0–240.6	176	50.1–293.0	168.8	71.4–106.7	85.4	54.9–255.8	105.8	58.7–162.5	92.2
Соединения Cu	0.77–7.55	2.14	3.76–7.55	5.65	0.88–3.82	2.48	1.10–3.99	1.95	0.77–2.09	1.53	1.16–2.24	1.55
Соединения Zn	2.03–12.0	5.08	6.90–11.7	8.79	3.39–11.4	6.39	2.59–12.0	4.85	3.34–7.03	5.15	2.03–6.57	2.98
Водный сток, км ³	334–637	507	515–539	523.5	334–637	458	464–517	482	454–609	523	435–628	534

Таблица 7. Среднемультилетний и допустимый по ПДК приток приоритетных ЗВ на устьевой участок р. Лены

Ингредиент(ПДК), мг/л	Приток химических веществ, тыс. т/год							
	с. Кюсюр				полярная ст. Хабарова			
	средне- много- летний	допусти- мый по ПДК	кратность превышения		средне- много- летний	допусти- мый по ПДК	кратность превышения	
средне- много- летняя			максималь- ная по сред- негодовому	средне- много- летняя			максималь- ная по сред- негодовому	
N аммония (0.39)	41.0	219	0.19	0.46	29.8	197	0.15	0.28
N нитритов (0.02)	1.95	10.8	0.18	0.42	2.37	10.1	0.23	0.50
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅ (2.0)	1112	1076	1.03	1.5	578	1012	0.57	1.1
Фенолы (0.001)	1.89	0.54	3.5	8.5	1.15	0.51	2.3	4.1
Нефтепродукты (0.05)	40.5	26.9	1.5	3.8	39.0	25.3	1.5	2.9
Соединения Fe (0.10)	246	53.8	4.6	12.8	122	50.6	2.4	5.8
Соединения Cu (0.001)	2.44	0.54	4.5	13.5	2.18	0.51	4.3	14.8
Соединения Zn (0.010)	5.91	5.38	1.1	2.9	5.20	5.06	1.03	2.4

Таблица 8. Классификатор антропогенной нагрузки по модулю притока ЗВ [23]

Антропогенная нагрузка	Диапазон максимальных значений модуля притока, т/км ² /год		
	N аммония	легкоокисляемых органических веществ (по БПК ₅)	нефтепродуктов
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

[22], позволяет оценить уровень антропогенной нагрузки. По этому показателю экосистема устьевой области Лены на замыкающем створе и в дельте в целом испытывает малую антропогенную нагрузку (табл. 9).

В условиях такой антропогенной нагрузки устьевая область Лены формируется как принципиально отличная от реки экосистема со своими гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими особенностями.

ВЫВОДЫ

В условиях возрастающего антропогенного воздействия происходит постепенная трансформация гидролого-гидрохимического состояния водной среды устьевой области Лены. Негативные последствия возникают, в первую очередь, за счет поступ-

ления заметных количеств химических ЗВ с речным стоком и увеличения стока наносов и тепла. Устьевая область реки в современных условиях антропогенного воздействия выполняет функцию геохимического барьера на пути значительных количеств ЗВ, поступающих как с местного водосбора, так и при транзитном переносе.

Установлено, что на замыкающем створе (с. Кюсюр) среднегодовой приток фенолов, соединений Cu и Fe может в десятки раз превышать предельно допустимые по ПДК нормы.

При такой антропогенной нагрузке на экосистему устьевой области усиливается и ускоряется трансформация ее абиотической компоненты за счет изменений таких гидрохимических показателей как ионный состав, минерализация, легкоокисляемые органические вещества и содержание растворенного в воде кислорода, а также за счет на-

Таблица 9. Антропогенная нагрузка по приоритетным ЗВ на устьевую область р. Лены

Ингредиент	Показатель	Участок устьевой области	
		с. Кюсюр	полярная ст. Хабарова
		площадь водосбора	
		2430000 км ²	2460000 км ²
N аммония	Диапазон максимальных значений притока, тыс. т/год	61.7–98.0	50.2–55.4
	Диапазон максимальных значений модуля притока, т/км ² год	0.025–0.040	0.020–0.022
	Антропогенная нагрузка	Малая	Малая
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅	Диапазон максимальных значений притока, тыс. т/год	126–1615	837–1137
	Диапазон максимальных значений модуля притока, т/км ² год	0.520–0.667	0.34–0.46
	Антропогенная нагрузка	Умеренная	Малая
Нефтепродукты	Диапазон максимальных значений притока, тыс. т/год	77.5–102	63.0–72.4
	Диапазон максимальных значений модуля притока, т/км ² год	0.025–0.042	0.026–0.029
	Антропогенная нагрузка	Малая	Малая

копления в водной среде минеральных форм N и P и ЗВ, способных при высоких концентрациях заметно менять трофность экосистемы и оказывать токсический эффект при воздействии на биоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В.С. Устьевая область Лены (гидрографический очерк). Л.: Гидрометеиздат, 1967. 107 с.
2. Брызгалов В.А., Иванов В.В. Сток растворенных веществ на замыкающих створах рек бассейнов арктических морей России. Многолетняя и сезонная изменчивость // Экологическая химия. 2000. Т. 9. № 2. С. 76–89.
3. Брызгалов В.А., Иванов В.В. Антропогенная нагрузка с водосборов северных и сибирских рек России на их устьевые экосистемы // Экологическая химия. 2003. Т. 12. № 3. С. 160–170.
4. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под. ред. Алексеевского Н.И. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
5. Головина А.П., Головин В.С. Прогнозирование заторных явлений на придельтовых участках Лены и Яны // Тр. ААНИИ. 1974. Т. 308. С. 143–172.
6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши за 1985–1995 гг. Бассейны рек прибрежных районов Республики Саха (Якутия). Тикси, 1986–1996 гг.
7. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши за 1984–2007 гг. Бассейны рек на территории Республики Саха (Якутия). Якутск, 1985–2008 гг. Т. 1 (34).
8. Луков А.Ю. Гидробиология устьевой области реки Лены. М.: Науч. мир, 2001. 285 с.
9. Ежегодники качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1980–1994 гг. Обнинск, 1981–1995.
10. Иванов В.В. Режим уровней Быковской протоки дельты Лены в зоне влияния моря // Тр. ААНИИ. 1961. Т. 213. С. 164–178.
11. Иванов В.В. Особенности режима перекаточного участка дельты Лены в зоне влияния моря // Тр. ААНИИ. 1961. Т. 256. С. 89–103.
12. Иванов В.В. Сток и течения основных протоков дельты р. Лены // Тр. ААНИИ. 1963. Т. 234. С. 76–85.
13. Иванов В.В. Основные принципы гидролого-морфологического районирования устьевых областей крупных рек // Тр. ААНИИ. 1974. Т. 308. С. 4–13.
14. Иванов В.В., Пискунов А.А., Карабель Р.А. Распределение стока по основным рукавам дельты Лены // Тр. ААНИИ. 1983. Т. 378. С. 59–71.
15. Комов Н.И. Весенние заторы льда в низовьях Лены // Тр. ААНИИ. 1968. Т. 238. С. 136–150.
16. Коротаев В.Н. Геоморфология речных дельт. М.: Изд-во МГУ, 1991. 224 с.
17. Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Бабич Д.Б. и др. Гидролого-морфологические процессы в дельте р. Лены // Земельные и водные ресурсы. Противоэрозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 120–144.
18. Магрицкий Д.В., Михайлов В.Н. Современное распределение стока воды и наносов в дельте р. Лены // Материалы XXI пленарного межвузовского координационного совещания по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов. Чебоксары, 2006. С. 149–151.
19. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.

20. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997. 176 с.
21. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Черногаева Г.М. Антропогенно-измененный природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 62–79.
22. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов-на-Дону: НОК, 2007. 280 с.
23. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 222 с.
24. Оксенок О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
25. Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 377 с.
26. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития / Под ред. Коротяева В.Н., Михайлова В.Н., Бабича Д.Б. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.