

**ТРАНСПОРТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
ПО КРУПНЫМ РЕКАМ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И СИБИРИ**

© 2015 г. А. М. Никаноров**, В. А. Брызгалов*, О. С. Решетняк***, М. Ю. Кондакова*

*Гидрохимический институт

**Южный отдел ИВП РАН

***Институт наук о Земле Южного федерального университета
344090 Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 198

E-mail: ghi6@aanet.ru

Поступила в редакцию 03.09.2013 г.

Впервые выполнена оценка многолетней изменчивости содержания растворенных химических веществ, в том числе и загрязняющих, в водной среде по длине крупных рек Европейского Севера и Сибири. Выявлены транспортируемые по водотокам загрязняющие вещества, ответственные за ухудшение состояния экосистем рек Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена и Колыма. Оценка транспорта загрязняющих веществ по крупным рекам имеет важное значение для оценки возможного выноса загрязняющих веществ в прибрежные зоны арктических морей.

Ключевые слова: реки Европейского Севера и Сибири, транспорт загрязняющих веществ, состояние речных экосистем.

DOI: 10.7868/S0321059615010101

Многие годы гидролого-экологическое состояние речных экосистем Европейского Севера и Сибири России формируется под влиянием внешних и внутрисистемных природных и антропогенных факторов. К последним относятся регулирование речного стока, дноуглубление, разработка карьеров в акватории рек, гидротехническое строительство, тепловое и химическое загрязнение воды при сбросе сточных вод и смыве с поверхности водосборов [9].

На территории Европейского Севера и Сибири сложились следующие направления использования водных ресурсов [1, 11]:

для обеспечения судоходства, лесосплава, рыболовства, рекреации, товарного рыбоводства, гидроэнергетики;

в качестве теплоносителя для охлаждения агрегатов при производстве электроэнергии (ТЭС, АЭС) и других промышленных агрегатов;

в технологических циклах при производстве разных видов продукции в горнообогатительной, целлюлозно-бумажной легкой и пищевой промышленности и в сельском хозяйстве; в питьевом и коммунально-бытовом водоснабжении.

Многокомпонентность внешних факторов, сложность взаимодействия отдельных элементов, разнообразие процессов в водной толще и донных отложениях, различие в испытываемых на-

грузках вследствие изменчивости поступающих загрязняющих веществ (ЗВ) продолжают ухудшать экологическое состояние речных экосистем.

Перечисленные выше направления использования водных ресурсов на водосборах рек приводит к нарушению:

характера и интенсивности поступления воды, наносов, химических веществ и тепла;

потенциала самоочищения и разбавления сточных вод водных экосистем;

развития сообществ водных организмов и продуктивности водных экосистем.

На территории Европейского Севера и Сибири насчитывается >1629 тыс. малых, средних и больших рек, что составляет ~64% общего числа рек страны [3]. Из всего многообразия речных экосистем к наиболее значимым для этого региона следует отнести системы рек Северной Двины, Печоры, Оби, Енисея, Лены и Колымы.

Крупные реки Европейского Севера и Сибири собирают воду, ЗВ, а также растворенные и взвешенные вещества с огромных водосборных площадей, связанных с различными видами хозяйственной деятельности, и транспортируют их вниз по течению. Приток по рекам растворенных химических веществ – один из важнейших фак-

Таблица 1. Изменчивость компонентного состава водной среды по длине р. Северная Двина в 2000–2010 гг. (здесь и в табл. 2–6 ЛООВ – определяемые по БПК₅; жирный шрифт – участки повышенного содержания ЗВ; н.о. – ниже предела обнаружения)

Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Диапазон колебания концентрации в ПДК							
		Интервал НЧВЗ концентрации в ПДК							
		соединения			ЛООВ	нефтепродукты	соединения N		фенолы
Fe	Cu	Zn	аммония	нитритов					
г. Великий Устюг (0.1 км ниже)	742	<u>0.40–11</u> 0.40–5.0	<u>0.90–21</u> 0.90–9.0	<u>0.20–2.9</u> 0.80–2.0	<u>0.13–2.5</u> 0.13–1.5	<u>н.о–6.6</u> н.о–0.80	<u>0.03–2.7</u> 0.03–0.80	<u>н.о–7.1</u> н.о–0.80	<u>н.о–19</u> н.о–3.0
г. Котлас (в черте города)	675	<u>0.30–16</u> 0.30–5.2	<u>н.о–17</u> н.о–7.0	<u>0.90–6.2</u> 0.90–2.0	<u>0.29–3.0</u> 0.29–1.3	<u>н.о–6.2</u> н.о–1.2	<u>н.о–0.92</u> н.о–0.30	<u>н.о–0.55</u> н.о–0.10	<u>н.о–2.0</u> н.о
д. Телегово (в черте деревни)	668	<u>1.4–30</u> 1.4–8.1	<u>1.0–48</u> 1.0–10	<u>1.1–8.6</u> 1.1–6.0	<u>0.31–2.2</u> 0.31–1.5	<u>н.о–18</u> н.о–3.0	<u>н.о–1.5</u> н.о–0.30	<u>н.о–0.45</u> н.о–0.10	<u>н.о–1.0</u> н.о
д. Абрамково (в черте деревни)	528	<u>0.30–7.0</u> 4.2–5.9	<u>н.о–22</u> н.о–3.0	<u>0.70–7.2</u> 0.70–4.7	<u>0.05–2.9</u> 0.9–2.1	<u>н.о–11</u> н.о–1.6	<u>0.05–0.95</u> 0.05–0.26	<u>н.о–0.55</u> н.о–0.10	Нет данных
д. Звоз (в черте деревни)	276	<u>0.80–12</u> 0.80–6.8	<u>н.о–9.0</u> н.о–3.0	<u>1.5–6.8</u> 1.5–3.5	<u>0.29–2.4</u> 0.29–1.1	<u>н.о–4.4</u> н.о–1.0	<u>н.о–1.4</u> н.о–0.26	<u>н.о–0.55</u> н.о–0.10	Нет данных
с. Усть-Пинега (в черте села)	137	<u>0.10–7.7</u> 0.10–5.4	<u>н.о–13</u> н.о–3.0	<u>0.20–7.8</u> 0.20–2.2	<u>0.12–2.1</u> 0.12–0.9	<u>н.о–14</u> н.о–1.0	<u>н.о–0.95</u> н.о–0.26	<u>н.о–0.25</u> н.о–0.10	<u>н.о–10</u> н.о–2.0
г. Новодвинск (в черте города)	61	<u>0.10–10</u> 0.10–6.9	<u>н.о–14</u> н.о–2.0	<u>0.50–4.3</u> 0.50–2.1	<u>0.10–2.5</u> 0.10–0.9	<u>н.о–3.6</u> н.о–0.6	<u>0.05–0.72</u> 0.05–0.18	<u>н.о–2.2</u> н.о–0.10	<u>н.о–10</u> н.о–2.0
г. Архангельск (в черте города)	39	<u>0.10–15</u> 0.10–6.6	<u>н.о–16</u> н.о–2.0	<u>0.10–6.2</u> 0.10–2.4	<u>0.13–3.3</u> 0.47–0.8	<u>н.о–6.4</u> н.о–0.8	<u>н.о–0.72</u> н.о–0.31	<u>н.о–0.40</u> н.о–0.10	<u>н.о–10</u> н.о–3.0

торов формирования гидрохимического режима на нижних участках и в устьевых областях рек.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ многолетней (2000–2010 гг.) режимной гидрохимической информации Государственной службы наблюдений (ГСН) за состоянием окружающей среды [6] по характеру и загрязненности воды речных экосистем показал тенденцию сохранения в водной среде наиболее крупных рек Европейского Севера и Сибири высоких концентраций приоритетных ЗВ. За период исследования максимальные концентрации веществ во много раз превышали значения ПДК. Так, кратность этих превышений следующая: для р. Северная Двина по соединениям Fe – 7–30, Cu – 9–48, нефтепродуктам – 4.4–18, фенолам – 10–19 раз (табл. 1); для р. Печоры по соединениям Fe – 6–26, Cu – 11–25 раз (табл. 2); для р. Оби по соединениям Fe – 7.6–75, Cu – 12–162, Zn – 2.7–149, Mn – 15–180, нефтепродуктам – 20–57, фенолам – 6–43 раза (табл. 3); для р. Енисей по соединениям Fe – 4.6–27, Cu – 21–43, Mn – 5.3–29, Zn – 9.4–20, нефтепродуктам – 14–22, фенолам – 11–20 раз (табл. 4); для

р. Лены по соединениям Fe – 2.9–12, Cu – 9–46, Zn – 2.3–24, фенолам – 8–20 раз (табл. 5); для р. Колымы по соединениям Fe – 15–35, Cu – 23–43, Zn – 7.4–23, фенолам – 7–15 раз (табл. 6).

Изменчивость компонентного состава водной среды исследуемых рек выражена как в общих диапазонах колебаний концентраций химических веществ, так и в интервалах наиболее часто встречаемых значений (НЧВЗ), которые чаще всего включают от 60 до 80% значений вариационного ряда.

Анализируя обширный фактический материал по изменчивости содержания в водной среде ЗВ по течению в исследуемых реках (табл. 1–6), можно выделить наиболее характерные закономерности. Так, по длине р. Северная Двина отмечается снижение к устью содержания в воде соединений N на фоне высоких концентраций соединений Fe и Cu по всей длине водотока даже по интервалам НЧВЗ. Максимальное содержание нефтепродуктов и соединений тяжелых металлов фиксируется в черте д. Телегово (не имеющей крупных источников загрязнения), что может указывать на транспорт этих ЗВ вниз по реке и на влияние вышерасположенных городов Великий Устюг и Кот-

Таблица 2. Изменчивость компонентного состава водной среды по длине р. Печоры в 2000–2010 гг.

Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Диапазон колебания концентрации в ПДК Интервал НЧВЗ концентрации в ПДК							
		соединения				ЛООВ	нефтепродукты	соединения N	
		Fe	Cu	Zn	Ni			аммония	нитритов
д. Якша (в черте деревни)	1506	$\frac{0.46-10}{2.2-6.8}$	$\frac{н.о-12}{н.о-2.0}$	$\frac{н.о-6.4}{н.о-1.5}$	$\frac{н.о-1.7}{н.о-0.30}$	$\frac{0.15-2.4}{0.54-1.3}$	$\frac{н.о-1.0}{н.о-0.20}$	$\frac{н.о-0.92}{н.о-0.23}$	$\frac{н.о-0.75}{н.о-0.05}$
пос. Троицко-Печорск (в черте поселка)	1359	$\frac{0.20-7.3}{3.4-4.6}$	$\frac{н.о-25}{н.о-5.0}$	$\frac{н.о-4.8}{н.о-2.0}$	$\frac{н.о-1.1}{н.о-0.20}$	$\frac{0.15-1.8}{0.60-2.4}$	$\frac{н.о-1.2}{н.о-0.20}$	$\frac{н.о-1.2}{н.о-0.28}$	$\frac{н.о-0.50}{н.о-0.10}$
пос. Кырта (в черте поселка)	1082	$\frac{0.60-6.0}{1.9-4.1}$	$\frac{н.о-11}{н.о-2.0}$	$\frac{н.о-4.6}{н.о-1.0}$	$\frac{н.о-1.0}{н.о-0.20}$	$\frac{0.31-2.2}{0.31-0.92}$	$\frac{н.о-0.6}{н.о-0.20}$	$\frac{н.о-0.74}{н.о-0.23}$	$\frac{н.о-0.25}{н.о-0.05}$
г. Печора (9.5 км ниже города)	889	$\frac{н.о-8.8}{н.о-5.7}$	$\frac{н.о-24}{н.о-4.0}$	$\frac{н.о-4.6}{н.о-0.90}$	$\frac{н.о-2.5}{н.о-0.20}$	$\frac{0.15-3.0}{0.15-1.5}$	$\frac{н.о-2.2}{н.о-0.20}$	$\frac{н.о-1.3}{н.о-0.28}$	$\frac{н.о-1.7}{н.о-0.25}$
д. Мутный Материк (1 км выше)	610	$\frac{0.70-11}{3.0-6.8}$	$\frac{н.о-13}{н.о-2.0}$	$\frac{н.о-2.6}{н.о-1.1}$	$\frac{н.о-2.6}{н.о-0.39}$	$\frac{0.15-1.9}{0.15-0.45}$	$\frac{н.о-1.4}{н.о-0.20}$	$\frac{н.о-0.90}{н.о-0.26}$	$\frac{н.о-1.7}{н.о-0.10}$
с. Усть-Цильма (6 км выше)	425	$\frac{0.40-23}{0.40-9.8}$	$\frac{н.о-16}{н.о-2.0}$	$\frac{н.о-4.1}{н.о-0.90}$	$\frac{н.о-1.3}{н.о-0.20}$	$\frac{0.15-1.3}{0.15-0.66}$	$\frac{н.о-2.0}{н.о-0.20}$	$\frac{н.о-1.1}{н.о-0.26}$	$\frac{н.о-1.4}{н.о-0.10}$
г. Нарьян-Мар (38 км выше города, д. Оксино)	141	$\frac{1.1-26}{4.6-11}$	$\frac{н.о-19}{н.о-4.0}$	$\frac{0.40-6.5}{1.3-2.2}$	$\frac{н.о-1.3}{н.о-0.40}$	$\frac{0.19-2.8}{0.68-1.6}$	$\frac{н.о-9.6}{н.о-2.80}$	$\frac{н.о-1.9}{н.о-0.23}$	$\frac{н.о-0.70}{н.о-0.10}$

лас. Максимальные концентрации легкоокисляемых органических веществ (ЛООВ) и фенолов в интервалах НЧВЗ варьируют в пределах 1–3 ПДК (табл. 1), что говорит об устойчивости речной экосистемы по данным показателям.

Для водной среды р. Печоры характерны незначительные колебания концентраций многих гидрохимических показателей, кроме соединений Fe, у которых к устью даже верхние границы НЧВЗ концентрации достигают 10–11 ПДК, и соединений Cu, концентрации которых на всех участках реки варьируют от 2 до 5 ПДК (табл. 2). Содержание биогенных соединений в водной среде по всей длине водотока не превышает 2 ПДК, соединений Ni и ЛООВ – 3ПДК, соединений Zn – 6.5 ПДК (табл. 2). Локальное повышение концентрации нефтепродуктов в районе г. Нарьян-Мар может быть обусловлено наличием газонефтепроводов и предприятий нефтеперерабатывающей промышленности.

На разных участках рек Обь и Енисей отмечаются высокие концентрации соединений тяжелых металлов, нефтепродуктов и фенолов, что, скорее всего, связано с интенсивным антропогенным воздействием, в то время как содержание ЛООВ и биогенных соединений по длине рек до-

статочно однородно и не превышает 2–3 ПДК на верхних границах интервалов НЧВЗ.

Повышение к устью содержания в воде соединений Mn, Fe, Cu, нефтепродуктов и фенолов как по общему диапазону колебаний их концентраций, так и по интервалам НЧВЗ характерно для вод р. Оби (табл. 3). Наиболее увеличиваются концентрации нефтепродуктов и соединений Fe, верхние границы НЧВЗ которых достигают 21–23 и 22–28 ПДК соответственно, а концентрации фенолов находятся в пределах 2–3 ПДК.

Для р. Енисей наблюдается незначительное снижение к устью содержания в водной среде соединений Fe. Максимальные концентрации соединений Cu, нефтепродуктов и фенолов остаются высокими по всей длине водотока. Верхние границы НЧВЗ концентрации соединений Cu и нефтепродуктов несколько увеличиваются вниз по течению реки, а фенолов – снижаются до 3 ПДК (табл. 4). Транспортом соединений тяжелых металлов вниз по реке и влиянием вышерасположенных городов Красноярск и Лесосибирск можно объяснить тот факт, что высокие концентрации соединений тяжелых металлов отмечены около

Таблица 3. Изменчивость компонентного состава водной среды по длине р. Оби в 2000–2010 гг. (прочерк – нет данных)

Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Диапазон колебания концентрации в ПДК Интервал НЧВЗ концентрации в ПДК								
		соединения				ЛООВ	нефтепродукты	соединения N		фенолы
		Fe	Cu	Zn	Mn			аммония	нитритов	
г. Новосибирск (3 км ниже)	2963	$\frac{\text{н.о}-7.6}{\text{н.о}-2.2}$	$\frac{\text{н.о}-25}{\text{н.о}-4.0}$	$\frac{\text{н.о}-3.9}{\text{н.о}-0.7}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-4.2}$	$\frac{0.08-5.6}{1.1-2.2}$	$\frac{\text{н.о}-22}{\text{н.о}-5.0}$	$\frac{\text{н.о}-17}{\text{н.о}-1.6}$	$\frac{\text{н.о}-13}{\text{н.о}-2.4}$	$\frac{\text{н.о}-9.0}{\text{н.о}-2.0}$
г. Колпашево (8.2 км ниже)	2422	$\frac{0.10-10}{0.20-4.6}$	–	–	–	$\frac{0.31-1.2}{0.31-0.60}$	$\frac{0.60-28}{0.60-15}$	$\frac{\text{н.о}-5.1}{\text{н.о}-0.5}$	$\frac{\text{н.о}-7.5}{\text{н.о}-1.2}$	$\frac{\text{н.о}-6.0}{\text{н.о}-1.0}$
с. Александровское (1 км выше)	1830	$\frac{0.30-18}{0.30-3.8}$	$\frac{\text{н.о}-12}{\text{н.о}-3.0}$	$\frac{\text{н.о}-2.7}{\text{н.о}-0.5}$	–	$\frac{0.10-3.7}{0.75-2.0}$	$\frac{0.20-37}{0.20-12}$	$\frac{0.05-7.3}{0.05-1.6}$	$\frac{\text{н.о}-9.6}{\text{н.о}-1.8}$	$\frac{\text{н.о}-11}{\text{н.о}-2.0}$
г. Нижневартовск (5.8 км ниже)	1711	$\frac{2.0-52}{2.0-17}$	$\frac{1.4-64}{1.4-13}$	$\frac{0.15-4.8}{0.15-1.5}$	$\frac{0.97-52}{0.97-11.7}$	$\frac{0.15-4.6}{0.15-1.7}$	$\frac{0.20-31}{0.20-6.6}$	$\frac{\text{н.о}-5.5}{\text{н.о}-1.1}$	$\frac{\text{н.о}-10}{\text{н.о}-1.6}$	$\frac{\text{н.о}-14}{\text{н.о}-2.0}$
г. Сургут (22 км ниже города)	1502	$\frac{0.30-44}{0.30-15}$	$\frac{1.1-108}{1.1-15}$	$\frac{0.08-6.2}{0.08-1.0}$	$\frac{0.20-66}{0.20-11}$	$\frac{0.05-6.4}{0.05-0.85}$	$\frac{\text{н.о}-28}{\text{н.о}-5.0}$	$\frac{\text{н.о}-11}{\text{н.о}-1.5}$	$\frac{\text{н.о}-6.4}{\text{н.о}-0.9}$	$\frac{\text{н.о}-9.0}{\text{н.о}-2.0}$
г. Нефтеюганск (0.5 км ниже)	1423	$\frac{2.0-54}{2.0-18}$	$\frac{0.50-64}{1.4-13}$	$\frac{\text{н.о}-3.8}{\text{н.о}-0.1}$	$\frac{\text{н.о}-58}{\text{н.о}-19}$	$\frac{0.20-3.4}{0.20-0.90}$	$\frac{0.02-36}{0.02-6.6}$	$\frac{\text{н.о}-6.8}{\text{н.о}-2.7}$	$\frac{\text{н.о}-8.6}{\text{н.о}-1.4}$	$\frac{\text{н.о}-10}{\text{н.о}-2.0}$
с. Белогорье (3.1 км выше)	1152	$\frac{1.1-54}{1.1-8.4}$	$\frac{0.38-48}{0.38-10}$	$\frac{0.01-18}{0.01-1.6}$	$\frac{0.004-67}{0.004-13}$	$\frac{0.05-4.0}{0.05-1.1}$	$\frac{\text{н.о}-23}{\text{н.о}-2.4}$	$\frac{0.02-6.6}{0.02-2.6}$	$\frac{\text{н.о}-3.1}{\text{н.о}-0.60}$	$\frac{\text{н.о}-13}{\text{н.о}-2.0}$
пгт Октябрьское (0.5 км ниже)	909	$\frac{\text{н.о}-43}{\text{н.о}-15}$	$\frac{1.1-10}{1.1-17}$	$\frac{0.01-19}{0.01-1.0}$	$\frac{0.29-65}{0.29-13}$	$\frac{0.25-3.6}{0.25-1.0}$	$\frac{\text{н.о}-26}{\text{н.о}-5.2}$	$\frac{\text{н.о}-5.5}{\text{н.о}-2.6}$	$\frac{\text{н.о}-8.8}{\text{н.о}-0.8}$	$\frac{\text{н.о}-12}{\text{н.о}-2.0}$
с. Полноват (в черте села)	702	$\frac{\text{н.о}-75}{\text{н.о}-20}$	$\frac{0.78-162}{0.78-13}$	$\frac{0.09-43}{0.09-3.0}$	$\frac{0.03-66}{0.03-15}$	$\frac{0.05-13}{0.05-2.1}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-5.8}$	$\frac{\text{н.о}-7.6}{\text{н.о}-3.2}$	$\frac{\text{н.о}-9.2}{\text{н.о}-0.55}$	$\frac{\text{н.о}-11}{\text{н.о}-2.0}$
пос. Горки (в черте поселка)	487	$\frac{0.90-47}{11-28}$	$\frac{\text{н.о}-100}{\text{н.о}-10}$	$\frac{1.0-39}{1.0-8.7}$	$\frac{1.9-180}{1.9-21}$	$\frac{0.25-3.4}{0.25-1.5}$	$\frac{0.40-49}{0.40-22}$	$\frac{0.23-4.7}{0.23-2.8}$	$\frac{\text{н.о}-11}{\text{н.о}-0.85}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-3.0}$
с. Мужы (в черте села)	463	$\frac{2.2-39}{8.0-22}$	$\frac{\text{н.о}-24}{\text{н.о}-4.0}$	$\frac{0.2-149}{0.2-11}$	–	$\frac{0.50-3.2}{0.50-2.3}$	$\frac{0.40-48}{0.40-23}$	$\frac{0.05-7.6}{0.05-2.7}$	$\frac{0.05-7.4}{0.05-0.6}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-2.0}$
г. Салехард (5.1 км ниже города)	287	$\frac{3.0-66}{0.70-20}$	$\frac{\text{н.о}-31}{\text{н.о}-4.0}$	$\frac{0.4-38}{0.40-5.7}$	$\frac{\text{н.о}-67}{\text{н.о}-17}$	$\frac{0.13-3.7}{0.44-0.99}$	$\frac{0.2-57}{\text{н.о}-21}$	$\frac{0.05-5.6}{0.05-2.9}$	$\frac{\text{н.о}-15}{\text{н.о}-0.80}$	$\frac{\text{н.о}-43}{\text{н.о}-4.0}$

с. Подтесово, не имеющего организованного сброса сточных вод и крупных источников ЗВ.

Повышение концентраций в воде соединений Fe в окрестностях с. Кюсюр с последующим снижением их в дельте характерно для р. Лены. Вниз по течению водотока снижаются верхние границы НЧВЗ концентрации соединений Cu (до 3 ПДК). По течению реки содержание нефтепродуктов и фенолов меняется значительно: общий диапазон колебаний – от 1.2 до 18 ПДК и от 8 до 20 ПДК со-

ответственно (табл. 5), в то время как по интервалам НЧВЗ оно не превышает 2–3 ПДК. Содержание ЛООВ и соединений аммонийного N в экосистеме р. Лены не превышает 1–2 ПДК.

По всей длине р. Колымы в воде наблюдаются высокие концентрации соединений тяжелых металлов, особенно соединений Cu, верхние границы НЧВЗ которых достигают 4.0–7.9 ПДК (табл. 6). Концентрации фенолов, биогенных и органических веществ меняются мало на различных участках

Таблица 4. Изменчивость компонентного состава водной среды по длине р. Енисей в 2000–2010 гг.

Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Диапазон колебания концентрации в ПДК Интервал НЧВЗ концентрации в ПДК									
		соединения					ЛООВ	нефтепродукты	соединения N		фенолы
		Fe	Cu	Zn	Mn	Al			аммония	нитритов	
г. Дивногорск (0.5 км ниже)	2493	$\frac{\text{н.о}-7.9}{\text{н.о}-1.8}$	$\frac{\text{н.о}-28}{\text{н.о}-4.8}$	$\frac{\text{н.о}-10}{\text{н.о}-2.3}$	$\frac{\text{н.о}-16}{\text{н.о}-2.5}$	$\frac{\text{н.о}-10}{\text{н.о}-1.5}$	$\frac{0.40-1.7}{0.40-2.80}$	$\frac{\text{н.о}-17}{1.6-4.2}$	$\frac{\text{н.о}-0.82}{\text{н.о}-0.10}$	$\frac{\text{н.о}-1.9}{\text{н.о}-0.30}$	$\frac{\text{н.о}-20}{\text{н.о}-1.0}$
г. Красноярск (5 км ниже)	2462	$\frac{0.50-12}{0.50-2.4}$	$\frac{\text{н.о}-21}{\text{н.о}-4.4}$	$\frac{\text{н.о}-9.4}{\text{н.о}-1.5}$	$\frac{\text{н.о}-5.3}{\text{н.о}-1.0}$	$\frac{\text{н.о}-6.4}{\text{н.о}-0.87}$	$\frac{0.30-3.3}{0.30-1.9}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-4.4}$	$\frac{\text{н.о}-3.5}{\text{н.о}-0.59}$	$\frac{\text{н.о}-0.65}{\text{н.о}}$	$\frac{\text{н.о}-16}{\text{н.о}-3.0}$
пгт Стрелка (5 км к СЗ)	2138	$\frac{0.10-27}{0.10-3.0}$	$\frac{\text{н.о}-38}{\text{н.о}-6.1}$	$\frac{\text{н.о}-19}{\text{н.о}-2.7}$	$\frac{\text{н.о}-23}{\text{н.о}-3.4}$	$\frac{\text{н.о}-10}{\text{н.о}-1.9}$	$\frac{0.25-2.4}{0.6-1.2}$	$\frac{\text{н.о}-27}{\text{н.о}-3.6}$	$\frac{\text{н.о}-2.5}{\text{н.о}-0.25}$	$\frac{\text{н.о}-0.90}{\text{н.о}-0.15}$	$\frac{\text{н.о}-14}{\text{н.о}-4.0}$
г. Лесосибирск (2.5 км ниже)	2107	$\frac{0.30-22}{0.30-2.9}$	$\frac{\text{н.о}-33}{\text{н.о}-6.2}$	$\frac{\text{н.о}-19}{\text{н.о}-2.5}$	$\frac{\text{н.о}-27}{\text{н.о}-3.9}$	$\frac{\text{н.о}-9.8}{\text{н.о}-2.0}$	$\frac{0.20-2.6}{0.60-1.3}$	$\frac{\text{н.о}-14}{\text{н.о}-2.4}$	$\frac{\text{н.о}-3.6}{\text{н.о}-0.43}$	$\frac{\text{н.о}-1.4}{\text{н.о}-0.10}$	$\frac{\text{н.о}-11}{\text{н.о}-4.0}$
с. Подтезово (5.5 км ниже)	2028	$\frac{0.30-15}{0.30-3.0}$	$\frac{\text{н.о}-43}{\text{н.о}-6.2}$	$\frac{\text{н.о}-20}{\text{н.о}-2.9}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-3.7}$	$\frac{\text{н.о}-15}{\text{н.о}-2.4}$	$\frac{0.25-2.9}{0.65-1.3}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-3.0}$	$\frac{\text{н.о}-4.4}{\text{н.о}-0.38}$	$\frac{\text{н.о}-0.50}{\text{н.о}-0.10}$	$\frac{\text{н.о}-14}{\text{н.о}-3.0}$
с. Селиваниха (южная часть)	974	$\frac{0.30-4.6}{0.30-2.0}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-8.6}$	$\frac{\text{н.о}-16}{\text{н.о}-3.4}$	$\frac{\text{н.о}-10}{\text{н.о}-2.5}$	$\frac{\text{н.о}-4.8}{\text{н.о}-1.1}$	$\frac{0.25-1.0}{0.50-0.85}$	$\frac{\text{н.о}-22}{\text{н.о}-4.8}$	$\frac{\text{н.о}-1.9}{\text{н.о}-0.05}$	$\frac{\text{н.о}-0.30}{\text{н.о}-0.10}$	$\frac{\text{н.о}-14}{\text{н.о}-3.0}$
г. Игарка (1 км ниже)	697	$\frac{0.50-8.5}{0.50-2.5}$	$\frac{\text{н.о}-33}{\text{н.о}-15}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-2.8}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-3.6}$	$\frac{\text{н.о}-7.6}{\text{н.о}-1.7}$	$\frac{0.25-2.2}{0.25-0.75}$	$\frac{\text{н.о}-19}{\text{н.о}-7.4}$	$\frac{\text{н.о}-2.0}{\text{н.о}-0.43}$	$\frac{\text{н.о}-0.45}{\text{н.о}-0.10}$	$\frac{\text{н.о}-15}{\text{н.о}-3.0}$

реки и в общем диапазоне колебаний, и в интервалах НЧВЗ. Локальное повышение содержания нефтепродуктов в воде р. Колымы фиксировалось ниже пос. Усть-Среднекан и, очевидно, обусловлено влиянием Колымской ГЭС и Колымской судоходной компании [6, 9].

На фоне достаточно высокого содержания в воде по длине исследуемых рек перечисленных выше ЗВ отмечаются случаи не только высокого загрязнения (ВЗ), но и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) воды (табл. 7). Высокие концентрации соединений тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, реже Cd, Pb и Mo) чаще всего становятся причиной ВЗ и ЭВЗ. Для рек Северная Двина, Печора и Лена не наблюдались случаи ЭВЗ, что может свидетельствовать о благополучном экологическом состоянии их речных экосистем.

Оценке стока, выноса или переноса химических веществ посвящено достаточно много исследований [2, 4, 5, 7–12], в которых показана важность оценки притока растворенных химических веществ в устья рек и рассмотрены трудности, с которыми сталкиваются специалисты, а также приведены погрешности расчетов.

Для оценки суммарного переноса ЗВ по руслам водотоков рассчитаны среднеголетние объемы их притока на замыкающие створы рек. Количественная оценка притока растворенных химических веществ получена прямым методом по формуле [9, 10]:

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

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/дм³.

Среднегодовые объемы притока химических веществ на замыкающие створы исследуемых рек рассчитаны по значениям водного стока за год и среднегодовым концентрациям. Допустимые по ПДК величины притока ЗВ рассчитаны аналогично по среднеголетним значениям водного стока в пункте наблюдений и ПДК конкретного

Таблица 5. Изменчивость компонентного состава водной среды по длине р. Лены в 2000–2010 гг.

Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Диапазон колебания концентрации в ПДК Интервал НЧВЗ концентрации в ПДК							
		соединения			ЛООВ	нефте-продукты	соединения N		фенолы
		Fe	Cu	Zn			аммония	нитритов	
пос. Пеледуй (1 км выше)	2693	$\frac{\text{н.о}-2.9}{\text{н.о}-0.70}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-5.0}$	$\frac{\text{н.о}-24}{\text{н.о}-3.5}$	$\frac{0.09-3.0}{0.09-1.1}$	$\frac{\text{н.о}-2.2}{\text{н.о}-0.40}$	$\frac{\text{н.о}-1.4}{\text{н.о}-0.23}$	$\frac{\text{н.о}-6.3}{\text{н.о}-1.0}$	$\frac{\text{н.о}-12}{\text{н.о}-3.0}$
г. Ленск (4 км ниже)	2508	$\frac{\text{н.о}-5.8}{\text{н.о}-0.90}$	$\frac{\text{н.о}-30}{\text{н.о}-5.0}$	$\frac{\text{н.о}-4.7}{\text{н.о}-0.50}$	$\frac{0.06-2.8}{0.06-0.90}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-0.60}$	$\frac{0.02-0.95}{0.02-0.18}$	$\frac{\text{н.о}-1.6}{\text{н.о}-0.25}$	$\frac{\text{н.о}-16}{\text{н.о}-3.0}$
г. Олекминск (1.5 км ниже)	2103	$\frac{\text{н.о}-5.8}{\text{н.о}-1.3}$	$\frac{\text{н.о}-46}{\text{н.о}-7.0}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-2.6}$	$\frac{0.06-2.8}{0.06-1.3}$	$\frac{\text{н.о}-9.6}{\text{н.о}-1.4}$	$\frac{\text{н.о}-1.2}{\text{н.о}-0.03}$	$\frac{\text{н.о}-8.7}{\text{н.о}-0.90}$	$\frac{\text{н.о}-18}{\text{н.о}-3.0}$
с. Табага (1.3 км выше)	1527	$\frac{\text{н.о}-12}{\text{н.о}-1.6}$	$\frac{\text{н.о}-24}{\text{н.о}-5.5}$	$\frac{\text{н.о}-5.1}{\text{н.о}-0.80}$	$\frac{0.12-3.6}{0.12-2.3}$	$\frac{\text{н.о}-5.3}{\text{н.о}-0.60}$	$\frac{\text{н.о}-1.0}{\text{н.о}-0.31}$	$\frac{\text{н.о}-3.7}{\text{н.о}-0.50}$	$\frac{\text{н.о}-20}{\text{н.о}-3.0}$
г. Якутск (2 км ниже)	1491	$\frac{\text{н.о}-7.6}{\text{н.о}-1.0}$	$\frac{\text{н.о}-14}{\text{н.о}-3.3}$	$\frac{\text{н.о}-8.2}{\text{н.о}-0.94}$	$\frac{0.15-2.1}{0.15-1.7}$	$\frac{\text{н.о}-1.2}{\text{н.о}-0.20}$	$\frac{0.05-0.46}{0.05-0.15}$	$\frac{\text{н.о}-0.50}{\text{н.о}-0.05}$	$\frac{\text{н.о}-12}{\text{н.о}-2.0}$
с. Жиганск (0.5 км выше)	754	$\frac{0.20-11}{0.20-2.1}$	$\frac{\text{н.о}-45}{\text{н.о}-8.1}$	$\frac{\text{н.о}-5.9}{\text{н.о}-1.3}$	н.д.	$\frac{\text{н.о}-5.4}{\text{н.о}-0.60}$	$\frac{0.05-0.92}{0.05-0.18}$	$\frac{\text{н.о}-1.5}{\text{н.о}-0.25}$	$\frac{\text{н.о}-8.0}{\text{н.о}-2.0}$
с. Кюсюр (в черте села)	211	$\frac{0.30-12}{0.30-3.7}$	$\frac{1.0-12}{1.0-3.0}$	$\frac{0.10-2.6}{0.10-0.60}$	$\frac{0.49-4.7}{0.84-1.5}$	$\frac{0.60-10}{0.60-2.0}$	$\frac{0.02-0.51}{0.02-0.18}$	$\frac{0.05-1.1}{0.05-0.25}$	$\frac{\text{н.о}-11}{\text{н.о}-3.0}$
ст. Хабаровова (4.7 км выше о. Столб)	4.7	$\frac{0.20-5.0}{0.20-2.2}$	$\frac{\text{н.о}-9.0}{2.0-3.0}$	$\frac{\text{н.о}-2.5}{\text{н.о}-0.80}$	$\frac{0.04-2.4}{0.04-0.62}$	$\frac{\text{н.о}-4.4}{0.80-1.8}$	$\frac{0.02-0.61}{0.02-0.13}$	$\frac{0.05-6.5}{0.05-0.35}$	$\frac{\text{н.о}-9.0}{\text{н.о}-2.0}$

Таблица 6. Изменчивость компонентного состава водной среды по длине р. Колымы в 2000–2010 гг.

Пункт режимных наблюдений	Расстояние от устья, км	Диапазон колебания концентрации в ПДК Интервал НЧВЗ концентрации в ПДК							
		соединения			ЛООВ	нефте-продукты	соединения N		фенолы
		Fe	Cu	Zn			аммония	нитритов	
пос. Усть-Среднекан (0.5 км ниже)	1623	$\frac{0.30-20}{0.30-2.8}$	$\frac{\text{н.о}-43}{\text{н.о}-7.9}$	$\frac{\text{н.о}-7.}{\text{н.о}-1.0}$	$\frac{0.10-2.3}{0.10-0.53}$	$\frac{\text{н.о}-48}{\text{н.о}-8.6}$	$\frac{\text{н.о}-3.4}{\text{н.о}-0.46}$	$\frac{\text{н.о}-3.3}{\text{н.о}-0.40}$	$\frac{\text{н.о}-8.0}{\text{н.о}-1.0}$
г. Среднеколымск (1 км ниже)	641	$\frac{0.01-15}{0.01-2.7}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-5.5}$	$\frac{\text{н.о}-23}{\text{н.о}-2.0}$	$\frac{0.13-3.7}{0.13-0.71}$	$\frac{\text{н.о}-8.6}{\text{н.о}-0.80}$	$\frac{\text{н.о}-0.87}{\text{н.о}-0.36}$	$\frac{\text{н.о}-6.6}{\text{н.о}-0.15}$	$\frac{\text{н.о}-15}{\text{н.о}-2.0}$
с. Колымское (0.3 км выше)	283	$\frac{0.01-35}{0.01-4.0}$	$\frac{\text{н.о}-29}{\text{н.о}-4.0}$	$\frac{\text{н.о}-3.9}{\text{н.о}-0.5}$	$\frac{0.80-3.4}{0.80-1.4}$	$\frac{\text{н.о}-5.6}{\text{н.о}-0.80}$	$\frac{0.02-3.2}{0.02-0.5}$	$\frac{\text{н.о}-9.7}{\text{н.о}-0.70}$	$\frac{\text{н.о}-9.0}{\text{н.о}-2.0}$
пос. Черский (в черте поселка)	120	$\frac{0.01-15}{0.01-2.4}$	$\frac{\text{н.о}-23}{\text{н.о}-6.1}$	$\frac{\text{н.о}-23}{\text{н.о}-4.3}$	$\frac{0.15-1.8}{0.15-1.4}$	$\frac{\text{н.о}-2.6}{\text{н.о}-0.4}$	$\frac{\text{н.о}-3.8}{\text{н.о}-0.5}$	$\frac{\text{н.о}-2.2}{\text{н.о}-0.6}$	$\frac{\text{н.о}-7.0}{\text{н.о}-2.0}$

вещества. Среднемноголетние объемы притока химических веществ, в том числе и ЗВ, — это среднее арифметическое среднегодовых значений.

Результаты расчета среднемноголетних (за 2000–2010 гг.) объемов притока ЗВ на замыкаю-

щие створы крупных рек Европейского Севера и Сибири показали, что в исследуемых экосистемах транспорт ЗВ определяют (табл. 8):

соединения Fe — для Оби, Енисея, Печоры и Лены;

Таблица 7. Характеристика случаев ВЗ и ЭВЗ воды крупных рек Европейского Севера и Сибири за 2000–2010 гг. (в скобках – число случаев)

Река	Общее число случаев		Причина ВЗ и ЭВЗ
Северная Двина	ВЗ	50	Снижение содержания кислорода в воде (30); высокие концентрации: соединений нитритного N (6), метанола (5), соединений Pb (2), нефтепродуктов (2), трудноокисляемых органических веществ (1) и лигносульфонатов (1)
	ЭВЗ		
Печора	ВЗ	12	Снижение содержания кислорода в воде (10); высокие концентрации соединений нитритного N (1) и пестицидов (1)
	ЭВЗ		
Обь	ВЗ	380	Снижение содержания кислорода в воде (78); высокие концентрации: соединений Zn (80), нефтепродуктов (66), соединений Mn (41), Fe (39), Cu (25); нитритного N (16), ЛООВ (19), соединений Hg (6), аммонийного N (4), Cd (2), фенолов (2), пестицидов (1) и АСПАВ (1)
	ЭВЗ	90	
Енисей	ВЗ	120	Высокие концентрации: ксантогената бутилового (74), соединений Cd (26), Zn (12), Cu (5), нефтепродуктов (2) и соединений Mn (1)
	ЭВЗ	41	
Лена	ВЗ	21	Высокие концентрации: соединений Zn (8), Cu (4), нитритного N (4), Mo (2), трудноокисляемых органических веществ (2) и соединений Pb (1)
	ЭВЗ	19	
Колыма	ВЗ	4	Высокие концентрации соединений Zn (3) и Fe (1)
	ЭВЗ	19	

нефтепродукты – для Оби, Енисея и Лены;
соединения Mn – для Оби;
ЛООВ – для Оби, Енисея и Лены;
соединения аммонийного N – для Оби, Енисея.

Если сравнивать среднесезонные объемы притока перечисленных выше ЗВ с допустимыми по ПДК их значениями, то можно заключить, что их объемы, поступающие на замыкающие створы исследуемых рек, превышают допустимые:

соединения Fe – в 2 (Енисей) – 12.3 раза (Обь);
соединения Cu – в 2 (Печора) – 10 раз (Енисей);
соединения Mn – в 1.7 (Енисей) – 14.7 раза (Обь);

нефтепродукты – в 1.6–1.8 (Печора и Лена) – 12 раз (Обь).

Из данных табл. 8 также следует, что по соединениям Zn, Al и фенолам превышение среднесезонных объемов их притока над допустимыми по значениям их ПДК составляет не более трех раз, по ЛООВ и соединениям аммонийного N – 1–2 раза. Приток на устьевые участки исследуемых рек соединений Ni и нитритного N – ниже предельно допустимых значений.

Учитывая полученные ранее [2, 9–11] и приведенные в статье данные, можно предположить, что поступление ЗВ в устья крупных рек Европейского Севера и Сибири приведет к увеличению

нагрузки на их устьевые экосистемы, к ухудшению экологического состояния водотоков и к антропогенному загрязнению водной среды под влиянием речного стока.

ВЫВОДЫ

Впервые выполнена оценка многолетней изменчивости содержания в водной среде растворенных химических веществ, в том числе ЗВ, по течению крупных рек Европейского Севера и Сибири. Проведенные исследования этой изменчивости для таких крупных рек, как Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена и Колыма, показали тенденцию сохранения высоких концентраций соединений тяжелых металлов, фенолов и нефтепродуктов на большинстве участков исследуемых рек. Максимальные концентрации этих соединений значительно превышают ПДК как в общих диапазонах их колебаний, так и в интервалах НЧВЗ.

Соединения Fe, Cu, Mn и нефтепродукты поступают на замыкающие створы рек в объемах, значительно превышающих допустимые по ПДК (превышение достигает 10–14.7 раз). При этом речные экосистемы не всегда могут ассимилировать огромные массы поступающих ЗВ, транспортирующихся вниз по течению. Значительная их часть может достигать устьевых участков рек и

Таблица 8. Среднемноголетние объемы притока ЗВ, тыс. т/год, на замыкающие створы крупных рек Европейского Севера и Сибири в 2000–2010 гг. (числитель – среднемноголетний объем притока; знаменатель – допустимый по ПДК объем притока; жирный шрифт – превышение среднемноголетнего объема притока над допустимым по ПДК в 5 и более раз; прочерк – нет данных)

ЗВ	Река – замыкающий створ					
	р. Северная Двина—с. Усть-Пинега	р. Печора—д. Оксино	р. Обь—г. Салехард	р. Енисей—г. Игарка	р. Лена—с. Кюсюр	р. Колыма—г. Среднеколымск
Соединения Fe	$\frac{36.4}{10.1}$	$\frac{109}{15.2}$	$\frac{502}{40.8}$	$\frac{134}{60.9}$	$\frac{161}{55.6}$	$\frac{14.5}{6.9}$
Соединения Cu	$\frac{0.20}{0.10}$	$\frac{0.30}{0.15}$	$\frac{1.63}{0.41}$	$\frac{6.09}{0.61}$	$\frac{2.22}{0.56}$	$\frac{0.28}{0.07}$
Соединения Zn	$\frac{1.51}{1.01}$	$\frac{3.04}{1.52}$	$\frac{12.2}{4.08}$	$\frac{15.8}{6.09}$	$\frac{3.89}{5.56}$	$\frac{0.62}{0.69}$
Соединения Ni	$\frac{0.23}{1.01}$	$\frac{0.46}{1.52}$	$\frac{0.82}{4.08}$	–	–	–
Соединения Al	$\frac{5.35}{4.04}$	$\frac{11.6}{6.08}$	–	$\frac{25.6}{24.4}$	–	–
Соединения Mn	$\frac{2.32}{1.01}$	$\frac{6.08}{1.52}$	$\frac{60.0}{4.08}$	$\frac{10.4}{6.09}$	$\frac{13.3}{5.56}$	–
Фенолы летучие	$\frac{0.30}{0.10}$	$\frac{0.05}{0.15}$	$\frac{0.82}{0.41}$	$\frac{1.83}{0.61}$	$\frac{1.67}{0.56}$	$\frac{0.14}{0.07}$
Нефтепродукты	$\frac{2.32}{5.05}$	$\frac{12.2}{7.6}$	$\frac{245}{20.4}$	$\frac{158}{30.4}$	$\frac{50.0}{27.8}$	$\frac{2.07}{3.45}$
ЛООВ	$\frac{146}{202}$	$\frac{365}{304}$	$\frac{632}{816}$	$\frac{761}{1218}$	$\frac{1362}{1112}$	$\frac{107}{138}$
Соединения аммонийного N	$\frac{6.56}{39.4}$	$\frac{12.2}{59.3}$	$\frac{277}{159}$	$\frac{59.7}{237}$	$\frac{32.2}{217}$	$\frac{6.07}{26.9}$
Соединения нитритного N	$\frac{0.10}{2.02}$	$\frac{0.24}{3.04}$	$\frac{6.94}{8.16}$	$\frac{1.22}{12.2}$	$\frac{3.89}{11.1}$	$\frac{0.24}{1.38}$

лишь незначительная – может поступать в прибрежные акватории арктических морей.

Дополнительное поступление по руслу реки растворенных химических веществ, в том числе ЗВ, заметно увеличивает антропогенную нагрузку на устьевые экосистемы рек и приводит к нарушению равновесия между их абиотической и биотической составляющими, что делает состояние устьевых экосистем менее устойчивым.

Оценка транспорта ЗВ по течению крупных рек Европейского Севера и Сибири в их устья существенна с экологической точки зрения для характеристики возможного выноса ЗВ в прибрежные зоны арктических морей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия / Под ред. Израэля Ю.А., Калабина Г.В., Никонова В.В. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 313 с.
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. Т. 9. № 2. С. 76–89.
3. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. Шикломанова И.А. СПб.: ГГИ, 2008. 598 с.
4. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования /

- Под ред. Алексеевского Н.И. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
5. Гордеев В.В., Джамалов Р.Г., Зекиер И.С. и др. Оценка выноса биогенных элементов с речным и подземным стоком в окраинные моря Российской Арктики // Вод. ресурсы. 1999. Т. 26. № 2. С. 206–211.
 6. Ежегодники “Качество поверхностных вод РФ” (за 2000–2010 гг.). Ростов-на-Дону: ГХИ, 2001–2011.
 7. Леонов А.В., Чичерина О.В. Вынос биогенных веществ в Белое море с речным стоком // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 2. С. 170–192.
 8. Леонов А.В., Чичерина О.В. Математическое моделирование трансформации нефтяных углеводородов в разных районах Белого моря // Вод. ресурсы. 2013. Т. 40. № 1. С. 36–61.
 9. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов-на-Дону: НОК, 2007. 280 с.
 10. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 434–444.
 11. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Ч. II. Реки Севера и Сибири (гидрохимия и гидроэкология). Ростов-на-Дону: НОК, 2010. 296 с.
 12. Shiklomanov L.A., Skaklsky B.G. Studying water sediment and contaminant runoff of Siberian rivers // Workshop on Arctic Contamination. Anchorage, AK: Arctic research of the United State, 1994. V. 8. P. 295–306.