

УДК 556.531.4

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА РЕКИ УССУРИ*

© 2013 г. Т.Н. Луценко¹, В.П. Шестеркин², Н.М. Шестеркина²

¹ Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

² Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск

Ключевые слова: р. Уссури, химический состав воды, основные ионы, биогенные элементы, органическое вещество, антропогенное влияние.



Т.Н. Луценко



В.П. Шестеркин



Н.М. Шестеркина

Рассмотрена пространственно-временная динамика химического состава воды рек бассейна р. Уссури. Отмечено снижение концентраций биогенных элементов и доминирование содержания нитратного азота в составе минеральных форм в воде рек верхнего и среднего течения р. Уссури и повышение содержания окисных форм азота в воде левобережной части в нижнем течении реки. Установлена приоритетная роль оз. Ханка в поступлении фосфора в р. Уссури.

Введение

Река Уссури – крупный правобережный приток Амура. Длина реки составляет 897 км, площадь водосбора – 193 тыс. км² (в пределах КНР

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (10-05-00227) и Президиума ДВО РАН (проекты № 10-III-Д-09-050, № 11-III-Д-09-054).

Водное хозяйство России № 3, 2013

Водное хозяйство России

57 тыс. км²), средний многолетний годовой сток – 1435 м³/с. Наиболее крупные притоки – Мулинхэ, Большая Уссурка, Наолихэ, Бикин и Хор. В бассейне Уссури расположено оз. Ханка – крупнейший водоем северо-восточной Азии (площадь акватории 4070 км²). Питание рек в основном дождевое, снеговое составляет 5–20 %, подземное 10–20 %. Максимальные расходы наблюдаются в мае и августе, редко – июле или сентябре, наименьшие расходы – феврале–марте [1].

Экономические реформы в бассейне р. Уссури в последние годы привели к изменению характера и интенсивности природопользования. В китайской части бассейна приоритетными отраслями стали сельское хозяйство и добыча угля, развитие которых потребовало больших объемов воды [2]. В российской части бассейна Уссури на фоне снижения объемов промышленного и сельскохозяйственного производства активно развивается газо- и нефтепроводная отрасль.

В верхней и средней части бассейна р. Уссури и ее притоков наблюдения за химическим составом поверхностных вод с 1953 г. осуществляет Росгидромет. Меньше изучена р. Уссури на пограничных участках (620 км). Опубликованные ранее работы о гидрохимии рек бассейна Уссури [3–8] в последние годы дополнены новыми данными, которые позволяют выявить пространственно-временную изменчивость химического состава воды рек в российской части бассейна р. Уссури.

Объекты и методы

Исследования проводили в 2008–2012 гг. в бассейне р. Уссури в 9 основных районах-пунктах: I. Верхнее течение. р. Соколовка – с. Соколовка, р. Уссури – с. Булыга-Фадеево, р. Уссури – с. Чугуевка, р. Уссури – с. Новомихайловка; II. р. Арсеньевка – с. Анучино; III. Реки Приханкайской равнины (Васиановка, Снегуровка, Черниговка, Грибная); IV. р. Сунгача – исток; V. р. Уссури – г. Лесозаводск; VI. р. Большая Уссурка – г. Дальнереченск; VII. Реки Среднеуссурийской равнины (Крутобережная, Челдонка, Кедровка); VIII. р. Бикин – с. Алчан; IX. р. Уссури – с. Казакевичево. Характеристика основных пунктов дана в табл. 1, схема расположения – рис. 1.

Пробы воды отбирали с поверхности в основном в мае–октябре, зимой – на р. Уссури у г. Лесозаводска и с. Казакевичево и на р. Сунгача. На последних двух пунктах – на трех вертикалях: на середине, у правого и левого берегов. Общее количество проб составило 102. Аналитические работы проводились по принятым при гидрохимических работах методам [9]. Химический анализ проб воды на содержание главных ионов (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻), биогенных элементов (NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, HPO₄²⁻,

Таблица 1. Характеристика основных районов наблюдений в бассейне р. Уссури [1]

Район	Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Средне-многолетний годовой сток, м ³ /с	Число проб
I	р. Соколовка – с. Соколовка	291	2,45	4
I	р. Уссури – с. Булыга-Фадеево	–	–	4
I	р. Уссури – с. Чугуевка	3960	38,5	1
I	р. Уссури – с. Новомихайловка	5170	43,8	2
II	р. Арсеньевка – с. Анучино	2480	21,2	2
III	р. Снегуровка – с. Снегуровка	473	3,63	2
III	р. Вассиановка – с. Вассиановка	233	–	3
III	р. Черниговка – с. Черниговка	322	2,06	4
III	р. Грибная – с. Черниговка	11,9	–	2
IV	р. Сунгача – исток	25 600	50	13
V	р. Уссури – г. Лесозаводск	26 200	237	6
VI	р. Большая Уссурка – г. Дальнереченск	29 500	345	7
VII	р. Кедровка – с. Рождественка	179	–	3
VII	р. Крутобережная – с. Губарево	126	–	2
VII	р. Челдонка – ур. Кочкарное	42,9	–	2
VIII	р. Бикин – с. Алчан	22 300	253	3
IX	р. Уссури – с. Казакевичево	193 000	1435	42

Fe, Si) проводили в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН (ТИГ ДВО РАН), Межрегиональном центре экологического мониторинга гидроузлов (Аттестат аккредитации № ROCC RU 0001 515988) при ИВЭП ДВО РАН. Содержание растворенного органического углерода определяли методом каталитического сжигания (TOC-VCPN, Shimadzu) в ТИГ ДВО РАН.

Обсуждение результатов

Вода рек бассейна р. Уссури (за исключением истока реки) по химическому составу относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу [10], который обусловлен преобладанием таежных ландшафтов над равнинами, муссонным характером климата, высокой устойчивостью подстилающих пород к выветриванию.

Величина рН воды рек изменяется от 5,90 до 7,80 (табл. 2). Наименьшие значения, обусловленные влиянием болот и заболоченных земель, отмечены в устье р. Уссури, наибольшие – в воде р. Сунгача.

Минерализация речных вод варьирует в широких пределах (см. табл. 2). Наименьшие значения отмечены в ручьях на высоте >1200 м [11]. В остальных водотоках, за исключением р. Сунгача, средняя величина минерализации в половодье изменяется от 30 до 70 мг/дм³. Более резкие различия появляются в межень (38–149 мг/дм³). Показателен характер увеличения минерализации от половодья к летне-осенней межени, амплитуда которого от-

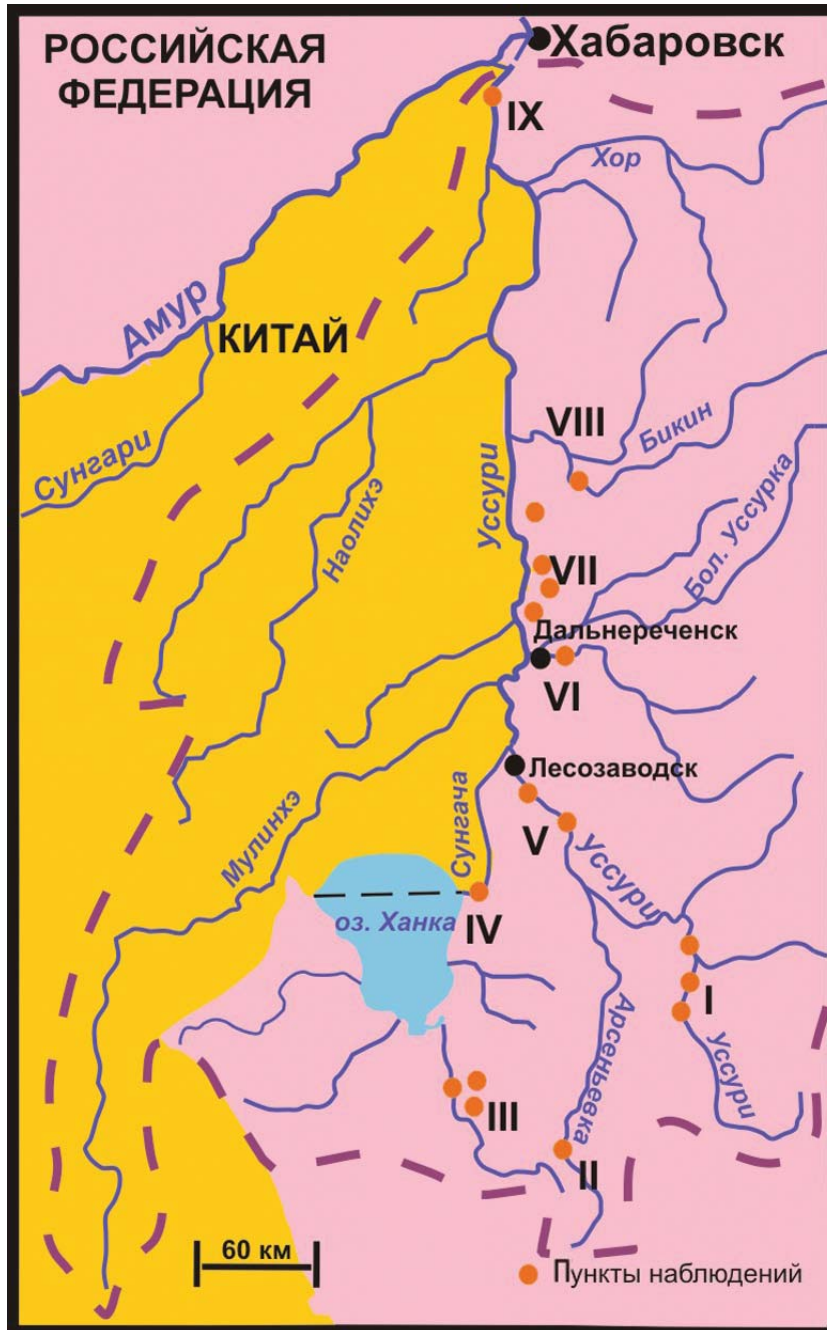


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений в бассейне р. Уссури.

ражает вклад источников локального загрязнения рек [3, 7]. В воде крупных рек Уссури, Бикин и Большая Уссурка это увеличение составляет 14–32 %, для малых рек Приханкайской и Среднеуссурийской равнин 18–175 и 12–60 % соответственно. Повышение минерализации в воде р. Соколовки, дренирующей таежные ландшафты, составляет 0–27 %.

В среднем течении р. Уссури ниже устья р. Мулинхэ минерализация могла повышаться на 50–60 % [7]. Концентрация гидрокарбонатного иона в воде рек, за исключением р. Сунгача, изменяется в пределах 12–56 мг/дм³ в половодье и паводки и 20–100 мг/дм³ в межень. Значительно ниже содержание хлоридного (0,2–4,0 мг/дм³) и сульфатного (4–20 мг/дм³) ионов. Среди катионов преобладает кальций, содержание которого при высоких уровнях воды составляет 2–6, при низких 4–14 мг/дм³. Меньше амплитуда колебаний концентраций ионов натрия и магния: в половодье и паводки 2–8 и 1–5 мг/дм³, в межень 3–10 и 2–7 мг/дм³ соответственно.

Специфические черты ландшафтов, слагающих водосбор Уссури, проявляются при сопоставлении концентраций главных ионов, выраженных в эквивалентной форме. В истоке р. Уссури вода характеризуется повышенным содержанием сульфатного иона (42 %-экв), которое обусловлено сульфидным рудопроявлением [11]. Другим фактором, влияющим на состав воды этого участка, является распространение на водосборе бедных солями горно-тундровых и горных буро-таежных почв [11, 12]. С уменьшением высот до 500 м доля сульфатного иона в воде снижается до 26–28 %-экв.

Отличие от р. Уссури, вода р. Арсеньевки выделяется резким преобладанием гидрокарбонатного иона (до 77 %-экв), близкими значениями кальция (41 %-экв) и магния (35 %-экв), что обусловлено дренированием базальтов в верхнем течении. Повышенной долей натрия (28 %-экв) характеризуется вода рек в половодье и паводки на достаточно освоенной Приханкайской равнине. Подобный состав имеет вода р. Сунгача, где доля натрия достигает 23–29 %-экв, а хлоридного иона 12–14 %-экв. Повышенные доли иона натрия (28 %-экв) и хлоридного иона (11 %-экв) наблюдаются зимой в среднем течении р. Уссури после впадения р. Арсеньевки, дренирующей территорию г. Арсеньев. В воде рек Большая Уссурка, Бикин, Среднеуссурийской равнины и Уссури в устье доля иона натрия составляет 20–22 %-экв. Подобный состав воды имеют правые притоки нижнего течения Уссури (Хор, 1-я Седьмая и др.) [8].

Сравнение данных по сумме ионов и ионному составу вод, полученных в результате данного исследования, и за периоды 1985–2004, 2005–2009 гг. [3] свидетельствует о снижении минерализации и максимальных концентраций главных ионов, уменьшении амплитуды их колебаний в результате спада экономики Приморского края в 1990-х годах. Сопоставление данных для пунктов верхнего и среднего течения р. Уссури показывает, что по сравнению с периодом 1985–2004 гг. происходит постепенное снижение макси-

Таблица 2. Содержание основных ионов и минерализация (мг/дм³) в воде рек бассейна р. Усури (в числителе – интервал концентраций, знаменателе – среднее значение)

Месяцы	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M
VII-X	6,46	2,6	0,6	р. Усури – 1200 м [11] 3,6	1,0	11,2	0,3	6,6	25,7
V-VI	6,54-6,9	2,4-3,2	0,6-1,1	р. Усури – верхнее течение 3,0-5,5	1,1-1,2	17,8-33,6	0,7-3,4	4,8-6,3	33,8-49,9
VII-X	6,66 6,32-7,12 6,71	2,5 2,3-3,1 2,7	0,7 0,6-1,0 0,7	3,4 4,0-6,0 4,8	1,1 1,1-1,6 1,4	19,9 19,2-28,7 23,3	1,7 0,4-1,0 0,7	5,6 4,0-10,0 7,4	36,6 37,5-48,0 40,8
V-VI	6,9	2,4	0,55	р. Арсеньевка – с. Анучино 3	2,4	33,6	1,7	5,6	49,9
VII-X	6,54	3,2	1,1	5,5	2,8	27,2	1,5	4,8	47,5
V-VI	6,95-7,22	2,2-4,1	0,6-2,1	Малые реки Приханкайской равнины 1,9-5,7	0,8-2,6	14,3-34,4	0,2-1,6	5,4-20,2	32,2-69,7
VII-X	7,05 6,87-7,5 7,15	3,1 3,4-7,7 4,9	1,4 1,0-2,0 1,5	3,7 1,9-14,0 6,1	1,4 1,4-7,4 3,2	23,2 22,4-101,5 47,5	1,1 0,7-1,6 1,3	11,4 6,8-20,7 9,7	48,4 43,0-148,8 74,4
II	7,45-7,80 7,71	11,6-14,2 12,5	4,2-4,3 4,3	р. Сунгача – исток 16,9-21,9 19,4	6,1-7,9 7,0	70,0-94,2 85,7	4,9-27,4 12,6	23,0-61,0 27,3	124-231,1 169,4
V-VI	7,39-7,75 7,7	8,0-8,9 8,4	2,8-3,5 3,0	8,2-12,6 11,2	4,2-4,6 4,4	61,1-65,9 62,7	1,8-6,6 5,0	11,9-20,4 15,8	105,4-116 100,3
VII-X	7,65-7,76 7,66	9,7-9,8 9,8	3,3-3,5 3,4	16,7-17,5 17,1	5,8-5,9 5,8	69,8-73,2 71,7	6,9-7,1 7,0	13,6-14,1 13,9	126,3-130 128,8
II	6,59-6,78 6,69	3,0-8,0 5,5	0,7-1,2 0,9	р. Усури – г. Лесозаводск 4,9-6,5 5,7	1,8-3,3 2,5	36,5-40,0 38,3	0,9-6,5 3,7	5,2-8,0 6,6	56,8-72,4 64,6
V-VI	6,68-7,57 7,05	2,0-3,3 2,6	0,7-0,8 0,8	2,6-4,9 3,7	1,1-1,2 1,2	16,4-22,4 19,5	0,3-1,2 0,7	9,4-10,8 10,2	37,9-41,8 40,4
VII-X	7,07-7,30 7,19	3,08-3,89 3,5	0,9-1,0 1,0	4,2-5,9 5,1	1,8-2,0 1,9	33,2-33,6 33,4	0,4-1,0 0,7	7,0-9,1 8,1	51,7-56,1 53,9

Окончание табл. 2

Месяцы	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M
						р. Большая Усурка – г. Дальнереченск			
V-VI	$\frac{6,55-7,25}{6,92}$	$\frac{1,8-2,6}{2,1}$	$\frac{0,5-0,8}{0,6}$	$\frac{2,9-4,8}{3,7}$	$\frac{0,9-6,2}{2,1}$	$\frac{12,9-22,8}{18,6}$	$\frac{0,3-0,7}{0,5}$	$\frac{6,1-9,4}{8,1}$	$\frac{30,1-51,0}{39,4}$
VII-X	$\frac{7,03-7,30}{7,19}$	$\frac{2,1-2,7}{2,4}$	$\frac{0,6-0,8}{0,7}$	$\frac{4,2-6,1}{4,9}$	$\frac{1,3-1,6}{1,5}$	$\frac{24,4-29,8}{27,7}$	$\frac{0,2-1,1}{0,6}$	$\frac{3,0-9,0}{6,9}$	$\frac{47,7-52,5}{50,1}$
						Малые реки Среднеусурийской равнины			
V-VI	$\frac{6,90-7,18}{7,08}$	$\frac{2,3-2,5}{2,4}$	$\frac{0,4-0,9}{0,6}$	$\frac{3,8-6,2}{5,0}$	$\frac{1,5-2,2}{1,9}$	$\frac{20,7-41,8}{32,0}$	$\frac{0,4-0,7}{0,6}$	$\frac{5,8-13,4}{10,4}$	$\frac{44,9-66,8}{53,9}$
VII-X	$\frac{6,86-7,45}{7,12}$	$\frac{3,3-3,6}{3,5}$	$\frac{0,5-1,2}{0,9}$	$\frac{6,0-9,9}{7,8}$	$\frac{2,6-4,3}{3,4}$	$\frac{40,4-79,6}{55,7}$	$\frac{0,2-1,1}{0,7}$	$\frac{7,5-8,0}{7,8}$	$\frac{61,9-107,0}{80,1}$
						р. Бикин – с. Алчан			
V-VI	$\frac{6,82-7,78}{7,3}$	$\frac{1,7-2,2}{2,0}$	$\frac{0,5-0,7}{0,6}$	$\frac{3,2-3,4}{3,3}$	$\frac{1,1-1,3}{1,2}$	$\frac{15,3-23,8}{19,6}$	$\frac{0,2-0,6}{0,4}$	$\frac{8,8-11,2}{10,0}$	$\frac{35,2-41,7}{38,4}$
VII-X	7,3	2,7	0,8	6,0	1,8	30,7	0,4	7,9	50,8
						р. Усури – с. Казакевичево			
II	$\frac{6,10-6,60}{6,45}$	$\frac{6,2-7,5}{6,70}$	$\frac{1,4-2,5}{1,90}$	$\frac{10,1-14,6}{12,3}$	$\frac{3,5-5,1}{4,2}$	$\frac{51,3-72,6}{59,7}$	$\frac{2,4-3,4}{3,0}$	$\frac{5,1-13,4}{10,5}$	$\frac{89,4-114,6}{99,8}$
V-VI	$\frac{5,90-7,35}{6,65}$	$\frac{1,0-4,9}{2,8}$	$\frac{0,4-1,8}{1,1}$	$\frac{3,9-6,3}{5,3}$	$\frac{1,4-3,0}{2,2}$	$\frac{14,6-56,2}{23,6}$	$\frac{0,9-3,8}{1,6}$	$\frac{5,8-13,1}{8,7}$	$\frac{38,0-58,7}{44,8}$
VII-X	$\frac{6,70-7,20}{7,00}$	$\frac{2,0-6,8}{3,4}$	$\frac{0,8-1,7}{1,1}$	$\frac{4,7-11,2}{6,8}$	$\frac{1,4-3,4}{2,5}$	$\frac{21,7-52,5}{31,8}$	$\frac{1,1-2,7}{1,8}$	$\frac{4,8-9,9}{7,3}$	$\frac{41,5-85,6}{55,4}$

Таблица 3. Минерализация и концентрации главных ионов (мг/дм³) в водотоках бассейна р. Уссури [3]

Река – пункт	Минерализация	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺
	1985–2004 гг.			
р. Уссури – с. Новомихайловка	29,3–77,2	1,1–7,1	0,7–13,9	4,4–9,4
р. Уссури – г. Лесозаводск	26,8–145,0	1,1–21,3	0,8–37,5	4,0–17,8
р. Уссури – пгт Кировский	26,1–122,0	0,7–7,4	1,2–14,1	3,6–14,4
	2005–2009 гг.			
р. Уссури – с. Новомихайловка	32,0–70,2	1,1–6,4	2,3–12,4	4,6–7,8
р. Уссури – г. Лесозаводск	30,4–125	1,4–6,4	3,2–13,9	4,4–17,2
р. Уссури – пгт Кировский	31,2–61,0	1,4–3,9	2,8–9,8	5,0–8,4

мальных концентраций диапазонов суммы ионов и слагающих ее макроэлементов хлорид- и сульфат-ионов, ионов кальция (табл. 3).

По результатам исследований максимальные концентрации этих показателей состава вод в период 2008–2012 гг. продолжали снижаться и для верхнего и среднего течения Уссури составили: по сумме ионов 38,7 и 56,8 мг/дм³; хлорид-иону 2,2 и 2,9 мг/дм³; сульфат-иону 8,3 и 9,3 мг/дм³; содержанию ионов кальция 5,8 мг/дм³.

Река Сунгача, в отличие от остальных рек бассейна р. Уссури, содержит в 2–3 раза больше солей (см. табл. 2), т. к. химический состав ее воды формируется водами оз. Ханка, на водосборе которого в 1980-е годы широко применялись удобрения на рисовых чеках. Максимальные концентрации веществ отмечались зимой, снижаясь весной в 1,2–1,7 раза. Распределение содержания ионов по ширине реки неравномерное, в феврале 154 мг/дм³. Среди ионов наиболее резкие различия отмечались для концентраций хлоридного и сульфатного ионов: у левого берега они достигали 27 и 61 мг/дм³, в остальной части реки 19,5 и 9 мг/дм³ соответственно.

Для содержания биогенных элементов в воде рек бассейна Уссури характерна значительная пространственно-временная динамика. Концентрации неорганических форм азота за период исследования изменялись от аналитического нуля до 0,390; 0,012 и 0,700 мгN/дм³ для аммонийной, нитрит- и нитратной форм (табл. 4). Содержание форм азота в весенне-раннелетний период отражает равновесие процессов разложения органического вещества и последующего поглощения элементов как наземной, так и водной биотой. Усиление биотического поглощения в водотоках в теплый период приводит к минимальному содержанию нитратной и аммонийной формы азота.

Таблица 4. Содержание биогенных элементов (мг/дм³) в воде рек бассейна р. Усури в 2008–2012 гг. (в числителе – интервал концентраций, знаменателе – среднее значение)

Месяцы	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	Fe	C _{орг}	Si
V-VI	$\frac{0,037-0,203}{0,094}$	$\frac{0,000-0,000}{0,000}$	$\frac{0,260-0,400}{0,277}$	$\frac{0,002-0,004}{0,003}$	$\frac{0,030-0,086}{0,069}$	$\frac{4,3-7,9}{5,8}$	$\frac{5,3-6,6}{5,5}$
VII-X	$\frac{0,000-0,122}{0,024}$	$\frac{0,000-0,005}{0,000}$	$\frac{0,200-0,394}{0,273}$	$\frac{0,005-0,016}{0,010}$	$\frac{0,020-0,119}{0,070}$	$\frac{3,8-9,7}{6,2}$	$\frac{5,8-6,6}{6,1}$
V-VI	0,048	0,000	0,145	0,000	0,012	5,2	6,6
VII-X	0,290	0,000	0,310	0,002	0,159	11,8	8,7
Малые реки Приханкайской равнины							
V-VI	$\frac{0,064-0,300}{0,165}$	$\frac{0,001-0,010}{0,003}$	$\frac{0,028-0,700}{0,160}$	$\frac{0,020-0,050}{0,009}$	$\frac{0,021-0,240}{0,108}$	$\frac{2,7-7,2}{5,2}$	$\frac{4,8-6,9}{5,8}$
VII-X	$\frac{0,000-0,190}{0,071}$	$\frac{0,000-0,010}{0,004}$	$\frac{0,030-0,130}{0,060}$	$\frac{0,000-0,029}{0,007}$	$\frac{0,040-0,270}{0,159}$	$\frac{2,3-8,2}{4,7}$	$\frac{6,4-7,7}{6,9}$
р. Сунгача – исток							
II	$\frac{0,000-0,090}{0,053}$	$\frac{0,003-0,010}{0,007}$	$\frac{0,080-0,190}{0,114}$	$\frac{0,060-0,116}{0,076}$	$\frac{0,010-0,040}{0,021}$	$\frac{2,80-4,70}{4,3}$	$\frac{2,3-5,0}{4,9}$
V-VI	$\frac{0,038-0,066}{0,022}$	$\frac{0,000-0,001}{0,001}$	$\frac{0-0,330}{0,099}$	$\frac{0,003-0,043}{0,026}$	$\frac{0,004-0,023}{0,014}$	$\frac{3,5-6,0}{4,5}$	$\frac{1,3-3,2}{1,8}$
VII-X	$\frac{0,060-0,102}{0,075}$	$\frac{0,000-0,001}{0,001}$	$\frac{0-0,050}{0,031}$	$\frac{0,003-0,049}{0,046}$	$\frac{0,029-0,036}{0,038}$	$\frac{3,7-4,4}{4,0}$	$\frac{3,3-3,6}{3,5}$
р. Усури – г. Лесозаводск							
II	$\frac{0,160-0,260}{0,208}$	$\frac{0-0,002}{0,002}$	$\frac{0,140-0,250}{0,197}$	$\frac{0,005-0,006}{0,006}$	$\frac{0,05-0,06}{0,06}$	$\frac{1,5-3,4}{2,5}$	$\frac{2,8-5,2}{4,0}$
V-VI	$\frac{0,160-0,230}{0,190}$	$\frac{0-0,002}{0,002}$	$\frac{0,090-0,390}{0,251}$	$\frac{0,005-0,010}{0,008}$	$\frac{0,050-0,110}{0,076}$	$\frac{4,9-6,1}{5,5}$	$\frac{4,1-5,1}{4,7}$
VII-X	$\frac{0,055-0,065}{0,060}$	$\frac{0-0,002}{0,002}$	$\frac{0,011-0,041}{0,026}$	$\frac{0,003-0,017}{0,010}$	$\frac{0,035-0,097}{0,246}$	$\frac{3,0-4,1}{3,6}$	$\frac{4,8-6,5}{5,7}$

Окончание табл. 4

Месяцы	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	Fe	C _{орг}	Si
V-VI	$\frac{0,018-0,220}{0,103}$	$\frac{0-0,001}{0,001}$	$\frac{0,220-0,470}{0,328}$	$\frac{0,001-0,007}{0,005}$	$\frac{0,024-0,102}{0,054}$	$\frac{3,0-5,1}{3,8}$	$\frac{4,1-4,6}{4,3}$
VII-X	$\frac{0,072-0,120}{0,090}$	$\frac{0,001-0,003}{0,002}$	$\frac{0,044-0,210}{0,131}$	$\frac{0,005-0,008}{0,007}$	$\frac{0,050-0,336}{0,174}$	$\frac{2,2-5,1}{3,8}$	$\frac{4,1-5,4}{4,8}$
V-VI	$\frac{0,140-0,350}{0,228}$	$\frac{0-0,002}{0,001}$	$\frac{0,020-0,140}{0,074}$	$\frac{0,010-0,020}{0,015}$	$\frac{0,007-0,230}{0,136}$	$\frac{4,7-9,1}{6,3}$	$\frac{3,3-6,1}{4,7}$
VII-X	$\frac{0,096-0,390}{0,196}$	$\frac{0,001-0,004}{0,002}$	$\frac{0,013-0,051}{0,028}$	$\frac{0,011-0,035}{0,024}$	$\frac{0,091-0,260}{0,176}$	$\frac{3,3-8,8}{5,3}$	$\frac{6,4-6,9}{6,6}$
V-VI	$\frac{0,186-0,310}{0,248}$	$\frac{0-0,001}{0,001}$	$\frac{0,170-0,180}{0,175}$	$\frac{0,006-0,016}{0,011}$	$\frac{0,103-0,152}{0,128}$	$\frac{5,9-7,7}{6,8}$	$\frac{4,0-4,6}{4,3}$
VII-X	0,093	0,004	0,041	0,012	0,128	4,4	5,5
II	$\frac{0,030-0,050}{0,160}$	$\frac{0,001-0,004}{0,002}$	$\frac{0,220-0,450}{0,300}$	$\frac{0,003-0,014}{0,003}$	$\frac{0,040-0,340}{0,110}$	$\frac{2,1-2,3}{2,2}$	$\frac{5,5-6,8}{6,1}$
V-VI	$\frac{0,030-0,360}{0,120}$	$\frac{0,001-0,012}{0,002}$	$\frac{0,040-0,420}{0,180}$	$\frac{0,003-0,028}{0,011}$	$\frac{0,030-0,130}{0,090}$	$\frac{4,1-7,4}{6,0}$	$\frac{3,9-5,0}{4,4}$
VII-X	$\frac{0,030-0,390}{0,150}$	$\frac{0,001-0,008}{0,002}$	$\frac{0,040-0,200}{0,110}$	$\frac{0,008-0,021}{0,013}$	$\frac{0,110-0,180}{0,130}$	$\frac{3,4-8,0}{5,3}$	$\frac{4,2-5,3}{4,7}$

р. Большая Усурка – г. Дальнереченск
 Малые реки Среднеусурийской равнины

р. Бикин – с. Алчан

р. Усури – с. Казакевичево

Анализ информации по вариабельности концентраций неорганических форм азота и фосфора за периоды 1941–1983, 1985–2004 и 2005–2009 гг [3, 4] и сопоставление с результатами наших исследований показывают, что в районах верхнего и среднего течения р. Уссури, нижнего течения р. Большой Уссурки существенно снизились уровни максимальных концентраций. Наибольшие изменения во времени характерны для содержания минеральных форм азота (табл. 5). Для верхнего течения р. Уссури снижение максимальных концентраций аммонийного азота (по отношению к периоду 1985–2004 гг.) составило 17 раз; нитритного 12; нитратного 2 раза. Для среднего течения р. Уссури – аммонийного азота 33 раза; нитритного 90; нитратного 3,3 раза.

Одновременно изменились соотношения концентраций минеральных форм азота. В период 1985–2004 гг. в верхнем течении р. Уссури максимальная концентрация аммонийного азота превышала концентрацию нитратной формы в 3,6 раза; в период 2005–2009 гг. это соотношение снизилось до 2,1. По нашим усредненным данным, в 2008–2012 гг. в верхнем течении р. Уссури вследствие изменения процессов разложения органического вещества нитратная форма азота стала преобладающей и превышает содержание аммонийной в 3,3 раза.

Таблица 5. Диапазон концентраций аммонийного, нитритного, нитратного азота и фосфора (мг/дм³) в воде рек бассейна р. Уссури в 1985–2009 гг.

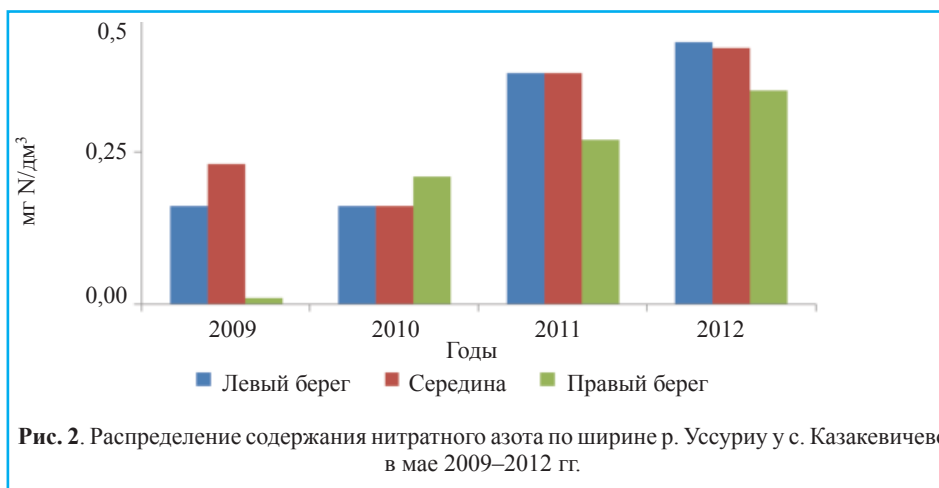
Река – пункт	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	Источник
1985–2004 гг.					
р. Уссури – с. Новомихайловка	0,0–2,71	0,0–0,036	0,0–0,760	0,0–0,780	[3]
р. Уссури – г. Лесозаводск	0,0–5,76	0,0–0,180	0,0–0,840	0,0–0,690	[3]
р. Уссури – пгт Кировский	0,0–2,59	0,0–0,108	0,0–0,640	0,0–0,262	[3]
р. Большая Уссурка – с. Вагутон	0,0–3,63	0,0–0,052	0,0–0,677	0,0–0,074	[4]
2005–2009 гг.					
р. Уссури – с. Новомихайловка	0,0–0,090	0,0–0,190	0,010–0,190	0,0–0,131	[3]
р. Уссури – г. Лесозаводск	0,0–0,730	0,0–0,038	0,010–0,300	0,0–0,285	[3]
р. Уссури – пгт Кировский	0,0–0,580	0,0–0,045	0,010–0,130	0,0–0,121	[3]

В среднем течении р. Усури в период 1985–2004 гг. соотношение аммонийной и нитратной форм азота составляло 6,9 раза, 2005–2009 гг. – 2,4 раза. Полученные результаты для этого участка русла реки свидетельствуют о близком соотношении нитратной и аммонийной форм азота.

В период наблюдений 1941–1983 гг. в устье р. Большая Уссурка – с. Вагутон соотношение максимальных концентраций аммонийной и нитратной форм азота составляло 5,4 раза [4]. Наши исследования показали, что в водах р. Большой Уссурки выше г. Дальнереченска теперь уже нитратная форма азота превышает концентрацию аммонийной в 1,9 раза. Изменение соотношения восстановленной и окисленной форм азота связано с уменьшением поступления органического вещества, изменением характера процессов его трансформации, более глубоким окислением, а также с сокращением промышленного и особенно сельскохозяйственного производства, в частности, снижением применения минеральных и органических удобрений в Приморском крае.

В воде малых рек Приханкайской равнины концентрация **аммонийного азота** незначительно превышает концентрацию нитратного только весной и летом. В среднем течении р. Усури аммонийный азот преобладает зимой и в летне-осенний период, причем в последнем случае его содержится в 2 раза больше, чем нитратного. Аммонийная форма азота доминирует в воде рек заболоченных водосборов р. Бикин и Среднеуссурийской равнины.

На замыкающем створе р. Усури преобладающей формой неорганического азота в зимнюю межень являются окисленные формы с равномерным распределением по ширине реки. В весенне-раннелетний период нитратный азот незначительно превышает аммонийную форму (см. табл. 4). Максимальный сток окисленных форм: нитритного и нитратного азота отмечается в мае во время половодья с преобладанием повышенных концентраций у левого берега (рис. 2), что свидетельствует об активизации хозяйственной деятельности в китайской части бассейна.



Содержание **нитритного азота**, являющегося нестойким промежуточным продуктом нитрификации в водах, находится на уровне первых микрограммов в литре (см. табл. 4). В верхней и средней части бассейна концентрации нитритного азота составляют $0,001\text{--}0,002\text{ мгN/дм}^3$, что соответствует среднему значению для наиболее чистых рек мира [13]. В устье р. Уссури интервал колебания концентраций значительно шире до $0,004\text{ мг N/дм}^3$ в зимнюю межень и до $0,012\text{ мгN/дм}^3$ весной в мае у левого берега. В воде р. Сунгача в феврале по поперечному створу от левого берега до правого пространственное распределение концентраций нитрит-иона представляло ряд: $0,010; 0,006; 0,009\text{ мгN/дм}^3$, что указывает на наличие локального загрязнения.

Концентрации общего растворенного **фосфора** в водотоках бассейна р. Уссури в период исследований изменялись от значений ниже предела обнаружения до $0,116\text{ мгP/дм}^3$. Сопоставление полученных данных с усредненными данными Росгидромета [3, 4] свидетельствует о существенном снижении содержания фосфора в последние годы. Снижение максимальных концентраций фосфора для верхнего течения р. Уссури по отношению к периоду 1985–2004 гг. составило 78 раз, для среднего течения р. Уссури – 63 раза. В воде верхнего и среднего течения рек Уссури, Арсеньевка, Большая Уссурка, Бикин, многих рек Сихотэ-Алиня [14] содержание фосфора находится в пределах $0,005\text{--}0,020\text{ мгP/дм}^3$, что соответствует уровню чистых рек мира [13]. В малых реках Приханкайской и Среднеуссурийской равнин, в половодье в устье р. Уссури концентрации фосфора изменялись от $0,020$ до $0,050\text{ мгP/дм}^3$. Максимальные значения наблюдались в р. Сунгача зимой (рис. 3). В воде р. Сунгача содержание фосфора в теплый сезон в 2–3 раза выше, чем в остальных водотоках бассейна р. Уссури, а зимой превышает на порядок. Подобные концентрации фосфора наблюдались в воде оз. Ханка в 1990-х годах, где происходит накопление биогенных элементов [5] в озерной толще за счет поступления загрязненных вод р. Спасовки.

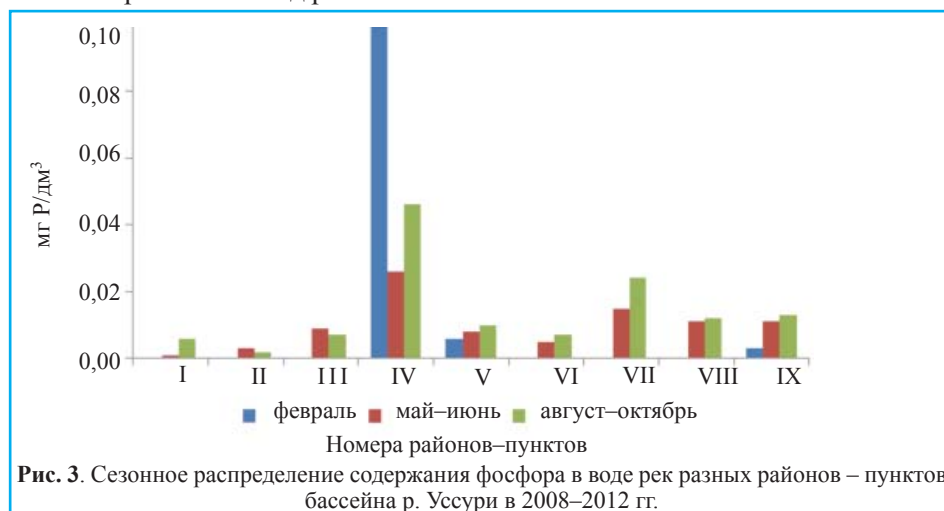


Рис. 3. Сезонное распределение содержания фосфора в воде рек разных районов – пунктов бассейна р. Уссури в 2008–2012 гг.

Содержание растворенного органического **углерода** изменялось от 1,5 до 11,8 мгС/дм³, при среднем значении 5,1 мгС/дм³, несколько меньшем средней величины 5,75 мгС/дм³ для чистых рек мира [13]. Гидрологический режим является важнейшим фактором, определяющим содержание углерода. В период весеннего половодья концентрации растворенного углерода в основном достигают максимальных значений за год. В сильные дождевые паводки вынос растворенного углерода также может удваиваться, как это отмечалось в р. Арсеньевке в августе 2012 г. Оценка вклада окрашенных гумусовых соединений, основанная на величине коэффициента экстинкции (280 нм), свидетельствует о достаточно близких по масштабу потоках гуминовых веществ на разных участках бассейна. Самые низкие значения коэффициента экстинкции (170–200 л/моль·см) и, следовательно, наиболее алифатичный характер молекулярной структуры соответствует органическому веществу р. Сунгача, резкое качественное и количественное отличие которого вызвано влиянием оз. Ханка.

С динамикой органического вещества, являющегося активным участником процессов выветривания типоморфных элементов и педогенеза, связано поступление растворенного **железа**. Концентрации растворенного железа невелики: 0,009–0,30 мг/дм³ при среднем значении 0,124 мг/дм³. Сезонная изменчивость в основном выражается в их увеличении от весны к осени [7]. Концентрации растворенного **кремния** в воде рек бассейна р. Уссури изменяются в небольших пределах 4–6 мг/дм³. Более высокими значениями (6,6–8,7 мг/дм³) выделяются воды р. Арсеньевки, дренирующие в верхнем течении базальтовое плато. Наиболее низкое содержание кремния из-за потребления диатомовыми водорослями отмечается в воде р. Сунгача в мае–июне.

Выводы

Исследования свидетельствуют о больших изменениях химического состава речных вод бассейна р. Уссури. В российской части бассейна наблюдается улучшение качества воды в результате снижения спада производства и снижения применения удобрений. По сравнению с 1985–2009 гг. наряду с общим снижением в несколько раз концентраций неорганических форм азота произошли изменения их соотношений в сторону преобладания окисленных форм.

Река Сунгача по сравнению с остальными реками бассейна р. Уссури содержит в 2–3 раза больше солей, выделяется повышенным содержанием в воде нитритного азота и фосфора, максимальной концентрацией растворенных веществ у левого берега. Повышение содержания окисных форм азота в воде левобережной части в нижнем течении реки свидетельствует об их преимущественном привносе с китайской части бассейна. В устье р. Уссури

зимой среди минеральных форм азота преобладает нитратная. В период открытого русла содержание растворенных веществ по ширине реки распределено неравномерно, у левого берега преобладают азот, фосфор, хлоридный и сульфатный ионы, ион натрия. Ухудшение качества воды происходит на пограничных участках рек Сунгача и Уссури. Содержание растворенного углерода, железа и кремния в реках бассейна р. Уссури определяется природными факторами.

Благодарности. Авторы выражают благодарность д. г. н. В.М. Шулькину, д. г. н. Б.И. Гарцману, к. г. н. В.В. Шамову, а также сотрудникам Приморского и Дальневосточного УГМС за содействие в отборе проб воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. М.Г. Васьковского. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 3. Приморье. Л.: Гидрометеиздат, 1972.
2. Liu Hong-yu, LuXian-guo, Wang Chang-ke. Study on the sustainable development of wetland resources in the Ussuri / Wusuli river basin. Chinese geographical science. 2000. V. 10. No 3. P. 270–275.
3. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Ч. IV. Реки Дальнего Востока (гидрохимия и геоэкология). Ростов-на-Дону: НОК, 2011. С. 162–201.
4. Зенин А.А., Погадаев Г.И., Цыцарин Г.В. Гидрохимический режим водотоков бассейна реки Уссури // Гидрохимические материалы. 1987. Т. 14. С. 3–17.
5. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 389 с.
6. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидрохимическая характеристика р. Уссури // Вопросы гидрологии и гидроэкологии Урала: юбилейный сборник научных трудов. Пермь: ПГУ, 2009. С. 73–77.
7. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 4. С. 428–439.
8. Фокина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Таловская В.С. Гидрохимия вод малых рек западного склона Сихотэ-Алиня // Биогеохимические и геоэкологические параметры наземных и водных экосистем. Вып. 19. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. С. 125–135.
9. РД. 52.18.596. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды. С измен. № 1 к РД 52.18.595–96.
10. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 413 с.
11. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2005. 247 с.
12. Ливеровский Ю.А., Рубцова Л.П. Почвенно-географическое районирование Приамурья // Вопросы природного районирования Дальнего Востока в связи с районной планировкой. М. 1962. С. 149–169.
13. Meybeck M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers // Amer. J. Sci. 1982. V. 282. No 4. P. 401–450.
14. Фокина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Фосфор в воде таежных рек северного Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 1. С. 116–119.

Сведения об авторах:

Луценко Татьяна Николаевна, к. г. н., научный сотрудник, Федеральное государственное учреждение науки Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТИГ ДВО РАН), 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7; e-mail: luts@tig.dvo.ru

Шестеркин Владимир Павлович, к. г. н., ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), 680000, Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65; e-mail: shesterkin@iver.as.khb.ru

Шестеркина Нина Михайловна, научный сотрудник, Федеральное государственное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65; e-mail: shesterkina@iver.as.khb.ru