

**В. П. ШЕСТЁРКИН, Н. М. ШЕСТЁРКИНА**

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56, Россия, shesterkin@ivep.as.khb.ru, shesterkina@ivep.as.khb.ru

### **ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД СРЕДНЕГО АМУРА В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ ПОСЛЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ 2005 ГОДА**

*Представлены результаты гидрохимических работ на р. Амур, выполнявшихся в период ледостава в 2006, 2008 и 2011–2015 гг. у г. Хабаровска и у сел Ленинского и Амурзет. В качестве источника информации использованы сведения совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов. Рассмотрено изменение химического состава воды Среднего Амура после трансграничного загрязнения в ноябре 2005 г., вызванного аварией на химическом комбинате г. Цзилинь (бассейн р. Сунгари). Отмечена большая роль природоохранных мероприятий в Китае (строительство очистных и гидротехнических сооружений, закрытие отдельных предприятий и др.) в улучшении качества воды р. Сунгари. Показано влияние зарегулирования рек Зеи и Буреи на гидрохимический режим Среднего Амура. Дана характеристика распределения концентраций растворенных веществ по длине и ширине р. Амур на участке от с. Амурзет до г. Хабаровска (400 км). Выявлено сглаживание различий в содержании компонентов химического состава в водах Амура по ширине ниже впадения р. Сунгари. Установлено улучшение качества вод Среднего Амура в последние годы: увеличение содержания растворенного в воде кислорода, отсутствие загрязнения нитритным азотом, резкое снижение концентрации аммонийного азота. Отмечено доминирование в водах Среднего Амура после 2012 г. в стоке минеральных форм азота окисленной формы над восстановленной формой. Дана характеристика химического состава вод Среднего Амура в период ледостава после исторического наводнения в 2013 г.*

*Ключевые слова:* р. Сунгари, гидроэнергетическое строительство, качество воды, минерализация, основные ионы, биогенные вещества.

**V. P. SHESTERKIN, N. M. SHESTERKINA**

Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000, Russia, shesterkin@ivep.as.khb.ru, shesterkina@ivep.as.khb.ru

### **TRANSFORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE MIDDLE AMUR WATERS AT THE WINTER LOW-WATER PERIOD AFTER TRANSBOUNDARY POLLUTION OF 2005**

*Presented are the results of hydrochemical work on the Amur river done during the freeze-up period in 2006, 2008 and 2011–2015 at the city of Khabarovsk and the villages of Leninskoe and Amurzet. The source of information used was represented by data of a joint Russian-Chinese monitoring of the water quality of the transboundary water bodies. We examine changes in the chemical composition of the Middle Amur water after transboundary pollution in November 2005 caused by the incident in the Jilin chemical plant (Songhua river basin). Emphasis is placed on the large role played by environmental measures in China (construction of pollution control facilities and hydraulic structures, shutdown of separate enterprises, etc.) in an improvement of the Songhua water quality. The influence of the regulation of the Zeya and Bureya rivers on the hydrochemical regime of the Middle Amur is shown. A characteristic is provided for the concentration distribution of dissolved matter along the length and width of the Amur in the section from Amurzet and Khabarovsk (400 km). The study revealed a smoothing of the differences in contents of the chemical composition components in the Amur waters along the width downstream of the inflow of Songhua. It is established that the Middle Amur water quality has improved in recent years: an increase in content of dissolved oxygen in the water, no pollution by nitrite nitrogen, and an abrupt decrease in ammonium nitrogen concentration. A predominance of the oxygenated form over the reduced form in the discharge was observed in the Middle Amur waters after 2012. A characteristic is given to the chemical composition of the Middle Amur waters during the freeze-up period after the historical flood of 2013.*

*Keywords:* Songhua river, hydropower construction, water quality, mineralization, bulk ions, biogenic substances.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Средний Амур — участок р. Амур от г. Благовещенска до г. Хабаровска длиной 980 км, химический состав воды которого в основном формируется водами Верхнего Амура, рек Зеи, Буреи и Сунгари.

Среди притоков Среднего Амура р. Сунгари наиболее крупная, она дренирует Северо-Восточный Китай. Длина реки 1865 км, площадь водосбора — 526,1 тыс. км<sup>2</sup> (28,4 % от площади водосбора всего Амура). В последние 50 лет в бассейне р. Сунгари произошли большие экономические преобразования: появились предприятия по производству пестицидов, минеральных удобрений, бумаги и т. д. На многие километры протянулись каналы рисовых чеков, на 30 % снизилась площадь заболоченных земель равнины Саньцзян. В провинции Хэйлунцзян в период с 1990 по 2000 г. площадь пахотных земель увеличилась на 13 %, использование минеральных удобрений — на 151 % [1]. Численность населения в провинциях Цзилинь и Хэйлунцзян превысила 55,7 млн чел.

Активизация хозяйственной деятельности в китайской части бассейна Среднего Амура привела к изменению характера и интенсивности природопользования. Отмечались случаи использования населением химических веществ для лова рыбы [2]. Как следствие, в воде китайской части Амура ниже устья р. Сунгари зафиксированы дефицит растворенного кислорода [3], загрязнение аммонийным и нитритным азотом [4, 5], появление водного гриба *Leptomitus Lacteus* — индикатора органического загрязнения [6]. Зимой 1995 г. у амурской воды и ихтиофауны появился «химический» запах, что затруднило использование воды без подготовки и употребление в пищу рыбы.

Особо острое внимание проблема качества воды Среднего Амура привлекла после аварии на химическом предприятии г. Цзилинь в ноябре 2005 г., в результате которой в воды р. Сунгари поступило около 100 т химических веществ (содержание бензола и нитробензола в воде превышало китайские нормы ПДК в 2000 и 700 раз соответственно). Для снижения концентраций этих веществ до начала ледохода в воду опускались клетки с активированным углем, соломой и кукурузой, что на 40 % снизило содержание нитробензола. 24 ноября фронт загрязнения достиг г. Харбин, 16 декабря — р. Амур. Наблюдения у Харбина свидетельствовали о снижении концентрации нитробензола более чем в 20 раз. Содержание бензола было ниже ПДК (0,01 мг/л), анилина — ниже предела обнаружения. Зона загрязнения составила 80–150 км [7].

Мониторинг на Среднем Амуре ниже устья р. Сунгари с 12 по 24 декабря 2005 г. выявил загрязнение правобережной части реки нитробензолом (до 0,0209 мг/л [8]) и аммонийным азотом (1,08–1,46 мг N/л), повышенное содержание которого в этой части Амура зимой отмечалось и ранее [4, 5]. Максимальное содержание последнего, как и впервые отмечаемая за все годы наблюдений высокая концентрация нитратного азота (1,49–1,91 мг N/л [9]), соответствовало наибольшему загрязнению воды нитробензолом.

В последующие годы в бассейне Амура произошли значительные изменения, которые оказали существенное влияние на химический состав вод Среднего Амура. В данной работе представлены результаты исследований за период 2006–2015 гг.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гидрохимические исследования осуществлялись на р. Амур в 2006, 2008 и 2011–2015 гг. у Хабаровска. Выбор этого участка реки обусловлен его наибольшей гидрологической и гидрохимической изученностью. Пробы воды отбирались в декабре-марте 1–2 раза в месяц с поверхности на 5–6 равномерно распределенных по ширине реки вертикалях. На пограничных участках Среднего Амура в районе сел Амурзет и Нижнеленинское пробы воды отбирались в феврале и марте на трех равномерно расположенных по ширине реки вертикалях. Карта-схема района исследований представлена на рис. 1. Образцы воды анализировались по стандартным методикам [10] в центре коллективного пользования «Межрегиональный центр экологического мониторинга гидроузлов» при Институте водных и экологических проблем ДВО РАН. При оценке степени загрязненности воды использовались предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воде объектов рыбохозяйственного значения [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования на Среднем Амуре у с. Нижнеленинское в марте 2006 г. показали, что характер распределения содержания аммонийного и нитритного азота по ширине реки не изменился по сравнению с предыдущими годами [9]. В российской части концентрации этих веществ были ниже ПДК, в то время как в китайской достигали 6 ПДК для аммонийного и 2,5 ПДК для нитритного азота. Максимальная концентрация нитритного азота (5,8 ПДК) отмечалась в устье р. Сунгари [12]. Превы-



Рис. 1. Карта-схема района исследований.

1 — пункты наблюдений. 2 — государственная граница.

шение концентраций аммонийного азота в китайской части Амура по сравнению с российской составляло 10 раз, нитритного — 100 раз, нитратного — 5,5 раза. По сравнению с декабрем 2005 г. содержание аммонийного и нитритного азота возросло в 5,5 и 6 раз соответственно, а нитратного — снизилось в 7,7 раза. Существенные колебания содержания соединений азота в течение ледостава могли быть обусловлены снижением водности р. Сунгари вследствие повышенных сбросов воды из водохранилищ в ноябре 2005 г. после аварии.

Содержание минерального фосфора в китайской части Амура составляло 0,047 мг Р/л, что в 7,5 раза выше, чем в левобережной части реки. Концентрации и характер распределения по ширине были сопоставимы с данными наблюдений предыдущих лет [13].

Помимо повышенных концентраций соединений азота и фосфора у вод китайской части Амура отмечался стойкий «химический» запах [9].

Ниже устья р. Сунгари неоднородность распределения содержания загрязняющих веществ по ширине Амура в результате перемешивания постепенно сглаживается. В районе г. Фуянь, в 40 км выше Хабаровска, концентрации аммонийного и нитритного азота в китайской части Амура превышали ПДК (в 2,6 и 1,3 раза соответственно). Близкие значения наблюдались для правобережной части Амура в 3 км выше Хабаровска [9].

В последующие после аварии годы правительством Китая осуществлялись мероприятия по улучшению качества воды рек Сунгари и Амура. Так, были закрыты предприятия, сбрасывающие сточные воды без очистки, в 12-м пятилетнем плане (2011–2015 гг.) предусмотрено снижение сброса сточных вод в реки бассейна р. Сунгари [14].

Строительство очистных сооружений способствовало существенному уменьшению содержания загрязняющих веществ в водах Среднего Амура. В результате значительно улучшился кислородный режим. Если в 2008 г. в районе с. Нижнеленинское в китайской части реки содержание кислорода в поверхностном слое воды было менее 3,0 мг/л [15], то в 2012 г. оно составляло 10,3 мг/л [16]. Сгладились различия в распределении растворенного кислорода по ширине реки, не зафиксировано загрязнение воды нитритным азотом, снизилось содержание аммонийного азота. В 2011–2013 гг. его концентрации были ниже 1,0 мг N/л и по сравнению с 2006–2008 гг. уменьшились в 2,4 раза. Минимальное за период наблюдений содержание аммонийного азота отмечалось в зимнюю межень 2015 г. при относительно равномерном распределении по ширине реки (рис. 2, а), концентрации были на уровне фоновых (у с. Амурзет выше устья р. Сунгари) и в 12 раз ниже по сравнению с данными 2006 г.

Многолетняя динамика содержания нитратного азота в китайской части Амура в районе с. Нижнеленинское характеризуется постепенным повышением концентраций с достижением максимальных значений в зимнюю межень 2013 г. (см. рис. 2, б). В последние годы они в 1,5 раза превышали данные

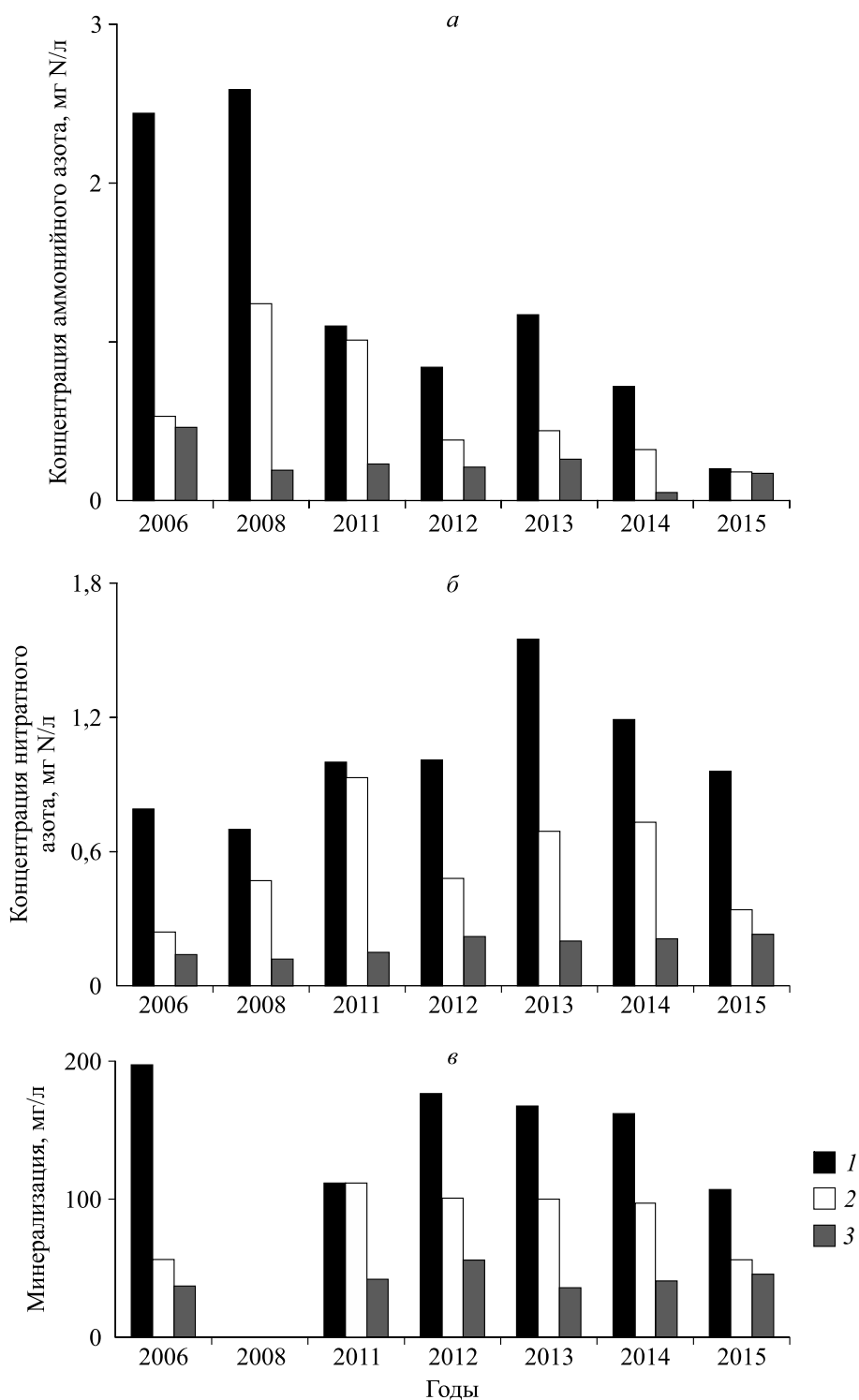


Рис. 2. Распределение показателей качества воды р. Амур по ширине у с. Нижнеленинского в 2006–2015 гг.

а — аммонийный азот; б — нитратный азот; в — минерализация. Место отбора проб: 1 — правобережная часть, 2 — середина, 3 — левобережная часть.

2006 и 2008 гг. В российской части Амура на этом участке содержание нитратного азота составило не более 0,20 мг N/л, на фоновом участке в районе с. Амурзет оно изменялось в узких пределах (0,20–0,31 мг N/л) и по ширине реки распределялось относительно равномерно.

Распределение содержания основных ионов по ширине Амура, а соответственно, и минерализации ниже устья р. Сунгари стало менее контрастным (см. рис. 2, *в*). Максимальные различия наблюдались в зимнюю межень 2006 г., наименьшие — в 2015 г. Существенного изменения в соотношении основных компонентов химического состава воды не отмечалось. Среди катионов доминировал ион кальция (43,1–51,9 %-экв), среди анионов — гидрокарбонатный ион (61,1–71,6 %-экв). В меньших количествах содержались ионы натрия (24,7–29,4 %-экв) и сульфатный ион (16,7–26,6 %-экв).

Снижение содержания основных ионов в воде р. Сунгари могло быть обусловлено повышением ее водности вследствие зарегулирования как притоков Сунгари, так и основного русла (ГЭС Дадинзишань ниже г. Харбина). В пользу этого предположения свидетельствует повышение содержания органического вещества в водах китайской части Амура. В 2011–2014 гг. оно варьировало в пределах 8,0–9,8 мг О/л, в 2015 г. возросло до 13,9 мг О/л.

В районе г. Хабаровска улучшение качества воды в последние годы происходило на фоне возросшей водности Амура, в том числе и за счет увеличения сбросов воды Зейского и Бурейского водохранилищ. Если в зимнюю межень 2005–2007 гг. суммарные сбросы воды в среднем составляли 1219 м<sup>3</sup>/с, то в 2012–2013 гг. — 1978 м<sup>3</sup>/с, а после исторического наводнения в 2013–2014 гг. достигли 2161 м<sup>3</sup>/с.

Несмотря на значительное увеличение водного стока Амура, поступление ультрапресных вод этих водохранилищ не привело к существенному снижению минерализации воды. На фоновом участке в районе с. Амурзет ее величина в среднем не превышает 50 мг/л, у Хабаровска в 2007–2015 гг. она варьировала в пределах 80,6–102,4 мг/л (для сравнения — до зарегулирования рек Зеи и Буреи минерализация составляла 123,5 мг/л). Наиболее заметно влияние российских водохранилищ проявляется в маловодные годы. В зимнюю межень 2007–2008 гг. минерализация воды Амура в среднем составила 84,3 мг/л, 2011–2012 гг. — 81,3 мг/л.

В условиях повышенной водности в зимнюю межень 2012–2013, 2013–2014 и 2014–2015 гг. после исторического паводка летом 2013 г. и при повышенных сбросах Зейской и Бурейской ГЭС средние показатели минерализации воды были равны 90, 102 и 98 мг/л соответственно. Максимальные значения (134, 145 и 126 мг/л соответственно) отмечались на фарватере, где сток формируют воды р. Сунгари. Увеличение содержания минеральных веществ в последние годы могло быть связано с их поступлением с затопленной водосборной площади после наводнения, а также с повышением доли р. Сунгари в водном стоке Амура и соответственно в стоке растворенных веществ за счет упомянутого развития гидроэнергетического строительства в ее бассейне. К сожалению, информацией по сбросам из водохранилищ Китая авторы не располагают.

Повышенный сток рек Зеи и Буреи наряду с улучшением качества воды р. Сунгари в значительной мере повлияли на качество воды Амура у Хабаровска. Наибольшие изменения отмечались для минеральных форм азота. Снизилось содержание аммонийного азота в зимнюю межень. Концентра-

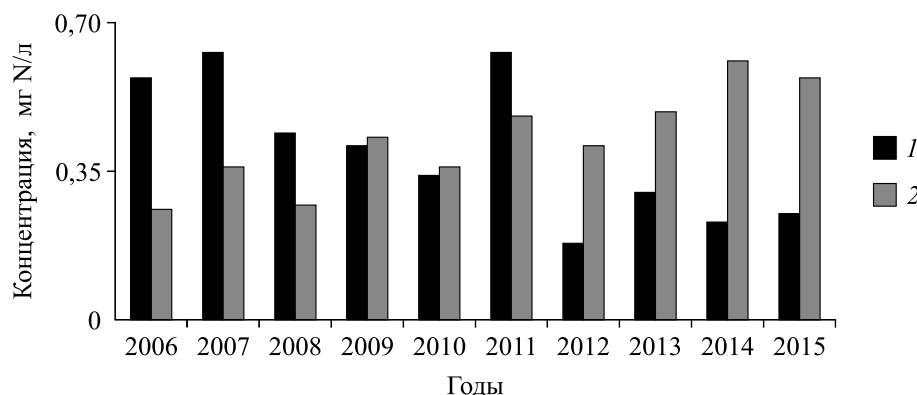


Рис. 3. Содержание аммонийного и нитратного азота в воде р. Амур у Хабаровска в зимнюю межень 2006–2015 гг.

Азот: 1 — аммонийный, 2 — нитратный.

ции в разные периоды наблюдений составили в среднем, мг N/л: 2003–2005 гг. — 0,60; 2009–2011 гг. — 0,45; 2012–2015 гг. — 0,24. Если в последние годы загрязнение воды аммонийным азотом и наблюдалось, то незначительное, причем на середине реки.

Содержание нитратного азота возросло и в 2014–2015 гг. превышало в 1,6 раза данные 2006–2008 гг. Наибольшие концентрации (до 1,0 мг N/л) отмечались в январе 2014 г. после исторического наводнения. В последние годы значительных колебаний концентраций этого вещества в течение ледостава не зафиксировано, в то время как в предыдущие годы его содержание к окончанию зимы постепенно повышалось. В стоке минеральных форм азота после 2012 г. стала преобладать окисленная форма, в то время как в 2006–2008 и 2011 гг., как и ранее [17], доминировала восстановленная (рис. 3).

Заметно изменилось содержание органического вещества. Так, в 2003–2005 гг. цветность амурской воды в среднем составляла 70°, в 2013–2015 гг. — 41°, т. е. снизилась в 1,7 раза.

Долгие годы для жителей Приамурья наиболее актуальной была проблема «химического» запаха воды и ихтиофауны. Было сделано предположение, что вещество (или группа веществ), вызывающее появление этого запаха, поступает с водами Сунгари, вероятно, с целлюлозно-бумажного комбината, расположенного в г. Цзямусы [18]. В январе 2010 г. вновь было зафиксировано ухудшение качества воды по органолептическим показателям. В феврале 2010 г. по результатам экстренного российско-китайского мониторинга было установлено поступление в р. Сунгари загрязняющих органических веществ — хлорфенолов и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты, что стало основанием для закрытия заводов по производству пестицидов и целлюлозно-бумажного комбината в г. Цзямусы [18].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивная хозяйственная деятельность в бассейне Среднего Амура оказывает существенное влияние не только на гидрохимический режим, но и на экологическое состояние речной экосистемы, создавая угрозу возникновения неблагоприятных экологических ситуаций.

К основным процессам, определяющим качество вод Амура на современном этапе, можно отнести активизацию хозяйственной деятельности в китайской части бассейна и ускоренное развитие гидроэнергетического строительства в Приамурье. Среди природных факторов на динамику межзимнего стока в первую очередь влияют крупные паводки в бассейне реки, обуславливающие значительное увеличение водного стока и выноса растворенных веществ, максимум которых отмечался после исторического наводнения в 2013 г.

Природоохранные мероприятия, проведенные в бассейне р. Сунгари после аварии в г. Цзилинь в ноябре 2005 г. (строительство очистных и гидротехнических сооружений, закрытие предприятий и др.), способствовали улучшению качества вод этой реки, а соответственно, и качества вод Среднего Амура.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве дополнительной информации для экологической диагностики качества поверхностных вод южной части Дальнего Востока в случае возникновения чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера. Дальнейшие гидрохимические исследования позволят оценить в многолетнем аспекте влияние экономических преобразований в Приамурье (гидротехническое строительство, добыча и переработка минеральных ресурсов, рост численности населения и др.) на химический состав вод Среднего Амура в период ледостава.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганзей С. С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и Северо-Востока КНР. — Владивосток: Дальнаука, 2004. — 231 с.
2. Гольбах А. В. Некоторые аспекты влияния геополитических факторов на пограничную безопасность в Дальневосточном регионе // Пограничное пространство востока России: национальные интересы и безопасность: Тез. докл. — Хабаровск: Изд-во Дальневост. акад. гос. службы, 2000. — С. 3–16.
3. Шестёркин В. П. Зимний кислородный режим вод Амура // География и природ. ресурсы. — 2004. — № 1. — С. 148–151.
4. Шестёркин В. П., Шестёркина Н. М. Трансграничное загрязнение Амура биогенными веществами // География Азиатской России на рубеже веков: Материалы XI науч. совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. — С. 184.
5. Шестёркин В. П., Шестёркина Н. М. Содержание аммонийного азота в воде Среднего Амура в зимнюю межень // География и природ. ресурсы. — 2003. — № 2. — С. 93–97.

6. Юрьев Д. Н., Гаретова Л. А., Шестёркин В. П., Сиротский С. Е. О массовом развитии водного гриба *Leptomitius lacteus* в р. Амур в период ледостава // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 1999. — Вып. 9. — С. 153–160.
7. UNER. The Songhua River spill. December, 2005. Field mission report. — Nairobi: United Nations Environmental Program, 2005. — 26 p.
8. Бердников Н. В., Рапопорт В. Л., Рыбас О. В., Пелых Т. И., Золотухина Г. Ф., Зазулина В. Е. Мониторинг загрязнения экосистемы р. Амур в результате аварии на химическом заводе в г. Цилинь (КНР): нитробензол // Тихоокеанская геология. — 2006. — Т. 25, № 5. — С. 94–103.
9. Шестёркин В. П., Шестёркина Н. М., Фокина Ю. А., Ри Т. Д. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005–2006 гг. // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 2. — С. 40–44.
10. РД. 52.18.596. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды, с изменениями № 1 к РД 52.18.595-96 [Электронный ресурс]. — <http://docs.cntd.ru/document/1200036098> (дата обращения 28.07.2015).
11. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства № 20 от 18.01.2010 [Электронный ресурс]. — <http://sudact.ru/law/prikaz-rosrybolovstva-ot-18012010-n-20-ob/prikaz/> (дата обращения 28.07.2015).
12. Шестёркин В. П., Шестёркина Н. М. Особенности качества воды р. Сунгари // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2009. — № 1. — С. 50–53.
13. Шестёркин В. П., Шестёркина Н. М. Роль реки Сунгари в формировании химического состава воды Среднего Амура в зимнюю межень // Биогеохимические и гидроэкологические оценки наземных и пресноводных экосистем. — Владивосток: Дальнаука, 2003. — Вып. 13. — С. 106–120.
14. Загрязнение Амура заметно снизилось [Электронный ресурс]. — <http://amurmedia.ru/news/politics/06.09.2011/169702> (дата обращения 28.07.2015).
15. Оценка данных совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2008 году. — Южно-Сахалинск: Росводресурсы, 2009. — 108 с.
16. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2012 году. — Хабаровск: Изд-во Мин. природ. ресурсов Хабаровского края, 2013. — 240 с.
17. Шестёркин В. П., Шестёркина Н. М. Многолетняя динамика содержания и стока аммонийного азота в воде Среднего Амура // Водн. хоз-во России. — 2015. — № 2. — С. 33–41.
18. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2010 г. / Под ред. В. М. Шихалева. — Хабаровск: Принт Сити, 2011. — 267 с.

*Поступила в редакцию 13 марта 2016 г.*