

Многолетняя изменчивость содержания иона аммония в воде среднего Амура в зимнюю межень после трансграничного загрязнения в 2005 году

Владимир Павлович ШЕСТЕРКИН
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник
shesterkin@ivep.as.khb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7271-8228>

Нина Михайловна ШЕСТЕРКИНА
научный сотрудник
shesterkina@ivep.as.khb.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7053-6087>

Институт водных и экологических проблем ХФИЦ ДВО РАН, Хабаровск, Россия, 680000

Аннотация. Рассмотрена пространственная и временная изменчивость содержания иона аммония в воде среднего Амура в зимнюю межень после аварии на химическом предприятии «Jilin Petroleum Chemical Company» в г. Цилинь в бассейне р. Сунгари (КНР) во второй декаде ноября 2005 г. Содержание иона аммония преимущественно определяли фотометрическим методом по ПНДФ 14.2.4.209-05. В работе использовали опубликованные материалы совместного российско-китайского мониторинга качества вод р. Амур. Отмечено снижение в 5,2 раза концентрации аммонийного азота в зимнюю межень 2025 г. по сравнению с зимней меженью 2005 г. Сделано предположение, что гидротехническое строительство в российской части бассейна р. Амур и природоохранные мероприятия на китайской его части после трансграничного загрязнения могли обусловить улучшение качества амурской воды у г. Хабаровск. В многолетнем аспекте отмечается снижение содержания аммонийного азота в зимнюю межень в 2 раза по сравнению с периодом до зарегулирования рек Зея и Буря (1975–1988). В современных условиях (2023–2025 гг.) содержание иона аммония у г. Хабаровск в среднем составляет 0,1 мг N/дм³, что в 4 раза ниже значения ПДК. Отмечается отсутствие загрязнения вод среднего Амура. По ширине Амура повышенные концентрации, как правило, отмечаются на середине за счет влияния вод р. Сунгари, наименьшие – в левобережной части из-за влияния вод зарегулированных рек Зея и Буря, характеризующихся низким содержанием иона аммония.

Ключевые слова: река Амур, трансграничное загрязнение, качество воды, ион аммония, содержание

Для цитирования: Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя изменчивость содержания иона аммония в воде среднего Амура в зимнюю межень после трансграничного загрязнения в 2005 году // Тихоокеанская география. 2026. № 2. С. 85–93. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_26_7

Long-term variability of ammonium ion content in water of the middle Amur River during winter low water period after transboundary pollution in 2005

Vladimir P. SHESTERKIN

Candidate of Geographical Sciences, Leading research associate
shesterkin@ivep.as.khb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7271-8228>

Nina M. SHESTERKINA

Research associate
shesterkina@ivep.as.khb.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7053-6087>

Institute of Water and Environmental Problems, Khabarovsk Federal Research Center, FEB RAS,
Khabarovsk, Russia

Abstract. The spatial and temporal variability of the ammonium ion content in the water of the Middle Amur River during the winter low water period after the accident at the Jilin Petroleum Chemical Company chemical plant in Jilin in the Sungari River basin (China) in the second decade of November 2005 is considered. The content of ammonia ion was determined mainly by the photometric method in the form of indophenol blue according to PND F 14.2.4.209-05. The work used published data of the joint Russian-Chinese monitoring of Amur water quality. A 5.2-fold decrease in the concentration of ammonium nitrogen was noted in the winter low-water season of 2025 as compared to the winter low-water season of 2005. It is assumed that hydraulic engineering construction in the Russian part of the Amur basin and environmental protection measures in the Chinese part after transboundary pollution could lead to an improvement in the quality of Amur water near Khabarovsk. In a long-term perspective, a 2-fold decrease in the content of ammonium nitrogen in the winter low water period was recorded as compared to the period before the regulation of the Zeya and Bureya rivers (1975-1988). Under current conditions (2023-2025), the ammonium ion content near Khabarovsk averages 0.1 mg N/dm³, which is 4 times lower than the MPC value. There is no pollution in the waters of the Middle Amur. Along the width of the Amur, elevated concentrations are typically found in the middle due to the influence of the Sungari River, while the lowest concentrations are found on the left bank due to the influence of the regulated Zeya and Bureya rivers, which are characterized by low ammonium ion levels.

Key words: Amur River, transboundary pollution, water quality, ammonium ion, content

For citation: Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. Long-term variability of ammonium ion content in water of the middle Amur River during winter low water period after transboundary pollution in 2005. *Pacific Geography*. 2026; (2).85–93. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_26_7

Введение

Ион аммония – вещество, которое в речных водах нормируется (рыбохозяйственное значение ПДК составляет 0,4 мг N/дм³) [1], но нормы его концентрации часто превышаются в результате антропогенной нагрузки. Мониторинг за содержанием иона аммония в воде р. Амур у г. Хабаровск с 1975 г. ведет Росгидромет, с 1997 г. – ИВЭП ДВО РАН. Анализ материалов Росгидромета за период 1975–2005 гг. позволил выявить загрязнение вод р. Амур аммонийным азотом в 1977, 1984 и 1987 гг., тогда максимальное значение этого вещества достигало 2,26 мг N/дм³ (превышение ПДК в 3 раза и более) [2, 3], а также изучить многолетнюю динамику его содержания и сток в воде среднего Амура

[4, 5]. Следует сказать, что в практике гидрохимических исследований в те годы наиболее распространенным был метод, основанный на реакции ионов аммония с реактивом Несслера [6], который завышает результаты при высоком содержании окрашенных и взвешенных веществ.

Проблема качества вод р. Амур привлекла большое внимание после аварии на крупнейшем в Китае химическом предприятии “Jilin Petrolum Chemical Company” в г. Цзилинь во второй декаде ноября 2005 г., в результате чего в р. Сунгари поступило около 100 т загрязняющих веществ (нитробензол, бензол, анилин и др.). В воде р. Сунгари в непосредственной близости от района взрыва содержание бензола и нитробензола в воде превышало китайские нормы ПДК в 2000 и 700 раз соответственно. 20 ноября фронт загрязнения достиг границы провинций Цзилинь и Хэйлуцзян. С 24 ноября Управлением по охране окружающей среды провинции Хэйлуцзян был начат мониторинг за содержанием нитробензола и бензола в воде р. Сунгари. Согласно наблюдениям максимальная концентрация нитробензола у г. Харбин составляла 0,58 мг/дм³ (33,15 ПДК), а общее количество бензолсодержащих веществ – 50 т. Концентрации нитробензола у г. Цзямусы и г. Тунцзян были ниже – 0,173 и 0,165 мг/дм³ соответственно. Содержание же бензола в воде р. Сунгари на участке реки от г. Харбин до устья не превышало ПДК (0,01 мг/дм³), а длина зоны загрязнения изменялась от 110 до 150 км [7]. Почти одновременно с мониторингом на р. Сунгари в начале декабря были начаты наблюдения за содержанием бензола и нитробензола в воде р. Амур ниже устья р. Сунгари.

Материалы о содержании загрязняющих веществ, расположении и протяженности зоны загрязнения ежедневно передавались Генеральным консульством КНР в г. Хабаровск Дальневосточному региональному центру по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. С 5 декабря в этот центр стала поступать и гидрологическая информация об уровнях и расходах воды, скоростях течения, свидетельствовавших о сбросе большого количества воды из китайских водохранилищ, который способствовал увеличению водности р. Сунгари, а соответственно и снижению в реке концентрации загрязняющих веществ [7].

Кроме вышеназванных веществ на этом предприятии производится 130 видов продукции, включая аммиак, выпуск которого в 1980-х по сравнению с 1950-ми гг. вырос с 50 до 310 тыс. т в год [8]. Поэтому, учитывая отсутствие информации о качественном и количественном составе веществ, поступивших в результате аварии в воды р. Сунгари, основной целью настоящего исследования являлось изучение динамики содержания иона аммония в воде среднего Амура в зимний период после аварии в 2005 г.

Материалы и методы

Во время ледохода пробы воды отбирали из полыньи вблизи фарватера (государственной границы) с вертолета. С 12 по 24 декабря в с. Нижнеленинское, расположенном в 40 км ниже устья р. Сунгари, была развернута химическая лаборатория, в состав которой входили специалисты краевого управления ГО и ЧС, Росгидромета и ДВО РАН.

Содержание иона аммония в отфильтрованных через мембранные фильтры (0,45 мкм) пробах воды определяли фотометрически: до 2014 г. по ПНД Ф 14.1:2.1-95 [6], после 2014 г. по ПНД Ф 14.2.4.209-05 [9]. Сопоставление результатов анализа при параллельном определении по обоим методикам показало хорошую сходимость при условии устранения мешающего влияния цветности воды (выше 20° цвет.) за счет коагуляции гуминовых веществ гидроокисью алюминия с последующим отстаиванием проб воды и определением в бесцветном слое концентрации с реактивом Несслера.

Пробы воды в р. Амур отбирались российскими и китайскими специалистами на трех равномерно распределенных по ширине реки станциях 2 раза в день, в период прохождения фронта загрязнения – через каждые 3 ч, в том числе впервые на пограничной реке



Рис. 1. Отбор проб воды р. Амур у с. Нижнеленинское в декабре 2005 г. ночью. Фото автора

Fig. 1. Water sampling of the Amur River near the village of Nizhneleninskoye in December 2005 at night. Photo by the author

ночью (рис. 1). Пробы отбирали батометром с поверхностного и придонного горизонтов, в равных объемах они передавались российской и китайской сторонам.

После подписания соглашения между МПП Хабаровского края и Управлением по охране окружающей среды провинции Хэйлунцзян в марте 2006 г. исследования были продолжены. Они осуществлялись специалистами Росгидромета и ДВО РАН на пограничных участках р. Амур (села Амурзет, Нижнеленинское и Нижнеспасское, г. Фуюань) и р. Сунгари выше городов Харбин, Цзямусы и Тунцзян (КНР). Образцы воды на р. Амур отбирались российскими и китайскими специалистами на 3 равномерно распределенных по ширине реки вертикалях. На р. Сунгари отбор проводился в левобережной и правобережной частях русла. Пробы воды отбирали батометром из поверхностного и придонного слоев.

В районе г. Хабаровск на р. Амур исследования осуществляли с 2006 по 2025 г. Выбор этого участка реки обусловлен его наибольшей гидрологической и гидрохимической изученностью. Пробы воды отбирали с поверхности на 5 равномерно распределенных по ширине реки вертикалях в декабре–марте 1–2 раза в месяц. На пограничных участках Амура после 2006 г. у с. Амурзет и Нижнеленинское пробы воды брали эпизодически. В работе использовались опубликованные материалы совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов.

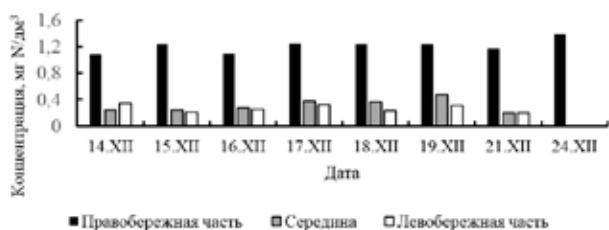
Результаты и обсуждение

Мониторинг в декабре 2005 г. на р. Амур у с. Нижнелинское свидетельствовал о неравномерном распределении ионов аммония по ширине реки (рис. 2), низком его содержании в российской части русла р. Амур ($0,16\text{--}0,37\text{ мг N/дм}^3$) и высоком (до $1,46\text{ мг N/дм}^3$) в китайской части, т.е. о том, что основной источник поступления этого вещества находился в бассейне р. Сунгари. Наибольшая концентрация иона аммония также наблюдалась во время максимального загрязнения вод Амура нитробензолом [7]. Высокий уровень концентрации иона аммония отмечался в этой части Амура и ранее (2000–2002 гг.) [3, 4], что свидетельствовало о хроническом загрязнении вод р. Сунгари этим веществом. Повышенное содержание иона аммония в воде р. Сунгари отмечали и китайские исследователи: в декабре 2003 г. у г. Тунцзян оно достигало $1,0\text{ мг N/дм}^3$, в то время как выше г. Харбин находилось ниже $0,2\text{ мг N/дм}^3$ [10].

Исследования на территории Китая в марте 2006 г. свидетельствуют о высоком загрязнении вод р. Сунгари аммонийным азотом (у г. Тунцзян до $2,3\text{ мг N/дм}^3$) [11]. По ширине и глубине его содержание в воде реки у г. Харбин и Тунцзян вследствие малых глубин распределялось равномерно. Иная ситуация отмечалась выше г. Цзямусы, где в правобереж-

Рис. 2. Изменение концентрации иона аммония в поверхностных слоях воды р. Амур по ширине у с. Нижнеленинское в декабре 2005 г.

Fig. 2. Change in the concentration of ammonium nitrogen in the surface layers of the Amur River water along the width near the village of Nizhneleninskoye in December 2005

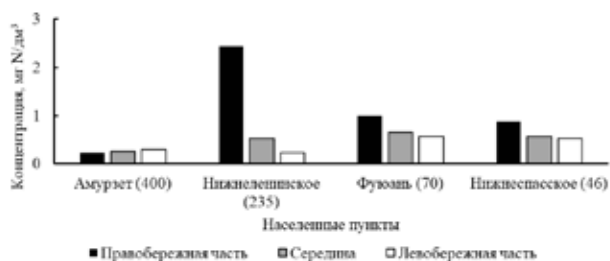


ной части р. Сунгари из-за разбавления водами р. Муданцзян содержание иона аммония снижалось до 1,4 мг N/дм³, а затем, после г. Цзямусы, достигало максимума.

Выше устья р. Сунгари (130 км) у с. Амурзет концентрация иона аммония в марте 2006 г. по ширине р. Амур изменялась в узких пределах (0,23–0,30 мг N/дм³), т.е. распределялась относительно равномерно (рис. 3). Невысокие значения (от <0,23 до 0,45 мг N/дм³) отмечались и в период совместного российско-китайского мониторинга в 2008 [12], 2011–2013 [13–15] гг. В многоводную зиму 2017 г., вероятно из-за повышенных расходов воды Зейской и Бурейской ГЭС (суммарно составляющих в среднем ~1800 м³/с), содержание было существенно ниже (0,02–0,03 мг N/дм³), т.е. различия по ширине и загрязнение вод р. Амур практически отсутствовали.

Рис. 3. Изменение концентрации иона аммония в поверхностных слоях воды р. Амур по ширине на участке между селами Амурзет – Нижнеспасское в марте 2006 г. В скобках дано расстояние от г. Хабаровск

Fig. 3. Changes in the concentration of ammonium ions in the surface layers of water of the Amur River along the width in the section between the villages of Amurzet and Nizhnespasskoye in March 2006. The distance to Khabarovsk is given in parentheses



Ниже устья р. Сунгари (35 км) у с. Нижнеленинское в 2006 г. содержание иона аммония по ширине р. Амур, как и ранее, распределялось крайне неравномерно (см. рис. 3). Если в российской части русла реки оно не превышало значения ПДК, то в китайской части достигало 6,0 ПДК. По сравнению с декабрем 2005 г. в правобережной части р. Амурской концентрация была выше в 1,9 раза. Такие различия в содержании иона аммония в амурской воде в декабре 2005 г. и марте 2006 г. вызваны увеличением водности р. Сунгари из-за сброса воды из водохранилищ. В 2008 и 2013 гг. содержание иона аммония в китайской части русла р. Амур составляло 4,7 и 2,2 ПДК, тогда как в российской части – <0,6 и 0,8 ПДК соответственно. Более низкое, чем в 2008 г., отмечалось содержание в этой части русла во время совместного российско-китайского мониторинга в 2011 (в 3,3 раза) и 2012 (2,8 раза) гг. В последующие годы стало отмечаться и отсутствие загрязнения вод р. Амур аммонийным азотом. В марте многоводного 2017 г. в китайской части русла р. Амур у с. Нижнеленинское содержание иона аммония составляло 0,8 ПДК, в российской части – 0,06 ПДК.

Ниже с. Нижнеленинское постепенное смешивание вод рек Сунгари и Амурской обуславливает постепенное сглаживание различий в содержании иона аммония по ширине р. Амур. В 2006 г., несмотря на значительное преобладание расходов воды р. Амур над расходами воды р. Сунгари, его концентрация в правобережной части Амурской продолжала превышать значение ПДК как у г. Фуюань, так и у с. Нижнеспасское (см. рис. 3). В районе

г. Фуюань содержание этого вещества в правобережной части русла р. Амур в 1,8 раза было выше, чем в левобережной части. Близкие значения отмечались и выше г. Хабаровск.

В районе г. Хабаровск распределение содержания аммонийного азота по ширине р. Амур из-за влияния вод правобережного притока р. Уссури менее контрастно. В правобережной части Амура в январе 2005 г. и феврале 2006 г. концентрации были ниже ПДК. Улучшение качества воды р. Уссури предположительно может быть обусловлено спадом производства, закрытия расположенных в бассейне р. Уссури Хорского гидролизного и биохимического заводов. Если в 1993 г. сброс аммонийного азота в составе сточных вод этих предприятий составлял 823,8 т [16], то в 2006 г. – 528,4 т [17].

Повышенный сток рр. Зея и Буряя наряду с улучшением качества вод р. Сунгари оказали большое влияние на содержание и сток аммонийного азота в воде р. Амур у г. Хабаровск. Если в 2003–2005 гг. его концентрация в среднем составляла 0,60 мг N/дм³ [5], то в 2006–2009 гг. – 0,51 мг N/дм³, т.е. снизилась в 1,2 раза. Загрязнение воды в основном отмечалось на середине р. Амур, среднегодовое значение стало ниже ПДК (рис. 4). В 2010–2014 гг. содержание аммонийного азота в среднем составило 0,35 мг N/дм³. Наибольшее значение отмечалось в многоводном 2011 г. (0,63 мг N/дм³), минимальное – в маловодном 2012 г. (0,18 мг N/дм³) и многоводном 2014 г. (0,23 мг N/дм³) [5].

В 2015–2021 гг. содержание аммонийного азота в амурской воде варьировало в пределах 0,10–0,23 мг N/дм³, т.е. отличалось небольшой межгодовой вариацией значений, снижением средней многолетней концентрации (0,17 мг N/дм³) по сравнению с 2010–2014 гг. в 2 раза. Незначительное загрязнение вод р. Амур (до 1,1 ПДК) отмечалось лишь на середине реки в феврале 2015 г. [18], в 2020–2021 гг. максимальное значение составляло 0,49 ПДК. Наименьшая концентрация иона аммония наблюдалась в феврале 2017 г. (0,05 мг N/дм³), когда суммарные расходы воды рек Зея и Буряя ниже ГЭС составляли 1616–2021 м³/с.

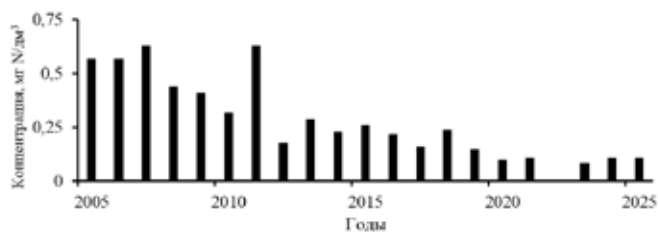


Рис. 4. Среднее за зимнюю межень содержание иона аммония в воде р. Амур у г. Хабаровск в 2005–2025 гг.

Fig. 4. Average ammonium ion content in the Amur River water near Khabarovsk during the winter low water period in 2005–2025

В условиях антропогенного воздействия в эти годы отмечается слабая отрицательная корреляционная связь стока аммонийного азота с водным стоком ($r = -0,64$). Наибольшие концентрации в основном наблюдались в маловодные зимы 2015, 2016 и 2018 гг. (см. рис. 4), наименьшие – как в зимы с повышенной водностью (2017, 2020), так и в средний по водности год (2019 г.). Повышенный сток аммонийного азота в 2016 и 2018 гг. свидетельствует об активизации хозяйственной деятельности в бассейне р. Амур прежде всего в китайской его части.

Наибольшие различия в содержании аммонийного азота по ширине р. Амур отмечались в зимнюю межень 2014–2015 гг. (0,4 мг N/дм³), наименьшие – в 2019–2024 гг. (0,06 мг N/дм³). Максимальные концентрации в основном наблюдались на середине реки, наименьшие – в левобережной части. Такие различия в концентрациях по ширине реки обусловлены неодинаковым содержанием иона аммония в воде основных его притоков: в правобережной части р. Амур отчетливо проявляется влияние р. Уссури, на середине – р. Сунгари, в левобережной части – рек Зея и Буряя.

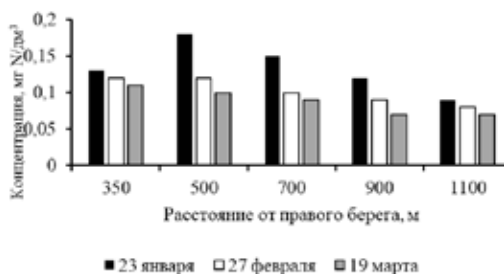
В течение ледостава содержание аммонийного азота в амурской воде чаще незначительно повышается от декабря к марту. В маловодные зимы концентрация возрастает вследствие усиления влияния р. Сунгари в условиях низких расходов воды рек Зея и Буряя. Обратная картина отмечалась в многоводные зимы (2020–2023 гг.).

В зимнюю межень 2019 г. в правобережной и левобережной части русла р. Амур у г. Хабаровск содержание иона аммония по сравнению с серединой реки было в 1,5 и 2,0 раза соответственно ниже [19]. В течение января–февраля его содержание в правобережной части Амура постепенно снижалось, в то время как на остальных участках реки повышалось, причем в левобережной части значительно. В середине марта содержание по всей ширине Амура резко возросло, больше стали различия в значениях между средней и левобережной частью. Подобные изменения в содержании N аммония могли быть обусловлены усилением воздействия р. Сунгари на сток растворенных веществ в период ледостава, в марте – поступлением загрязненных талых снеговых вод.

Содержание иона аммония в амурской воде в 2023–2025 гг. в среднем составило 0,1 мг N/дм³, т.е. по сравнению с 2005 г. снизилось в 5,2 раза. По ширине Амура у г. Хабаровск оно распределялось относительно равномерно (рис. 5), небольшое увеличение (до 0,5 ПДК) отмечалось на середине. Наименьшие значения наблюдались в левобережной части реки.

Рис. 5. Изменение содержания иона аммония в воде р. Амур у г. Хабаровск по ширине в зимнюю межень 2024 г.

Fig. 5. Change in the ammonium ion content in the Amur River water near Khabarovsk along the width during the winter low water period of 2024



Значительное улучшение качества вод р. Сунгари, а соответственно и р. Амур, могло быть обусловлено проведением природоохранных мероприятий в Китае после аварии в 2005 г. Некоторые предприятия были закрыты, введены в строй новые и модернизированы изношенные очистные сооружения и др., что способствовало снижению выноса иона аммония в р. Амур.

Улучшению качества вод р. Амур также способствовало повышение его водности за счет увеличения расходов воды зарегулированной в 2003 г. р. Бурей. В зимнюю межень 2010–2020 гг. они возросли в среднем в 1,6 раза по сравнению с 2005–2007 гг. [19], в 2021–2022 гг. достигали максимального значения (871 м³/с). В 2005–2006 гг. суммарные расходы воды реках Зeya и Бурей ниже ГЭС в среднем составляли 1200 м³/с, в 2012–2013 гг. – 2002 м³/с, а в 2013–2014 гг. после исторического наводнения 2013 г. – 2204 м³/с, 2021–2022 гг. – 2100 м³/с.

Заключение

Значительные экономические преобразования в бассейне р. Амур за последние годы обусловили изменение водного и гидрохимического режима одной из крупнейших рек мира. В условиях антропогенно-измененных территорий произошло перераспределение внутригодового водного стока и повышение его в зимнюю межень. Значительные изменения произошли в содержании и стоке растворенных веществ. В многолетнем аспекте (1997–2025 гг.) отмечается снижение содержания аммонийного азота в зимнюю межень в 2 раза по сравнению с периодом до зарегулирования рек Зeya и Бурей. Гидротехническое строительство в российской части бассейна Амура и природоохранные мероприятия в бассейне р. Сунгари после аварии в г. Цзилинь в 2005 г. позволили снизить риск негативных последствий. В современных условиях (2023–2025 гг.) содержание иона аммония в среднем составляет 0,1 мг N/дм³, по сравнению с зимней меженью 2005 г. отмечается его

снижение в 5,2 раза; в водах среднего Амур загрязнение ионами аммония отсутствует. По ширине р. Амур у г. Хабаровск наибольшее его содержание отмечается на середине реки, наименьшее – в левобережной части.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России «Состояние природных и природно-хозяйственных систем умеренной зоны Западной Пацифики» (проект № 126031118637-5). Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН, финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2025-621.

Acknowledgments. This work was carried out under the RF Ministry of Science and Higher Education's state assignment "The State of Natural and Natural-Economic Systems of the Temperate Zone of the Western Pacific" (project No. 126031118637-5). The research used the resources of the Shared Use Center "Mineral Resources Research Center" of the Khabarovsk Federal Research Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, funded by the RF Ministry of Science and Higher Education (agreement No. 075-15-2025-621).

Литература

1. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций водных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Минсельхоза РФ от 27 мая 2025 г. № 366. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1312971053?marker=6500IL> (дата обращения: 01.12.2025).
2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Трансграничное загрязнение Амура биогенными веществами // География Азиатской России на рубеже веков: Материалы XI научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. 2001. С. 184.
3. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Роль р. Сунгари в формировании химического состава воды Среднего Амура в зимнюю межень // Биогеохимические и гидроэкологические оценки наземных и пресноводных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 106–120.
4. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Содержание аммонийного азота в воде среднего Амура в зимнюю межень // География и природные ресурсы. 2003. № 2. С. 93–97.
5. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика содержания и стока аммонийного азота в воде среднего Амура // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 2. С. 33–41.
6. ПНД Ф 14.1:2.1-95 МВИ массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Утв. Минприроды России, 20.03.1995. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293731/4293731098.pdf> (дата обращения: 27.04.2026).
7. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Фокина Ю.А., Ри Т.Д. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005–2006 гг. // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 40–44.
8. Северо-Восточный Китай в 80-е годы XX в.: Справочник / Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 320 с.
9. ПНД Ф 2:4. 209-05 МВИ массовой концентрации аммоний-ионов в пробах питьевых и природных вод фотометрическим методом в виде индофенолового синего. Утв. ФГУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия», 15.06.2005. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/556088168> (дата обращения: 27.04.2026).
10. Shi F., Li R. Analysis of Changes in Water Quality of Songhua River in 2003. Report on Amur-Okhotsk. № 3. 2005. Pp. 87–95. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.chikyu.ac.jp/AMORE/2005.3KyotoSympto/14SHI_F.pdf (дата обращения: 27.04.2026).
11. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды р. Сунгари // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 1. С. 50–53.
12. Оценка данных совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2008 году. Южно-Сахалинск: Росводресурсы. 2009. 108 с.
13. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2011 году. Хабаровск: Росводресурсы, 2012. 122 с.
14. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2012 году. Хабаровск: Росводресурсы, 2013. 277 с.
15. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2013 году. Хабаровск: Росводресурсы, 2014. 167 с.
16. Состояние природной среды и природоохранная деятельность в Хабаровском крае в 1993 году: Доклад комитета экологии и природных ресурсов Хабаровского края / под ред. А.А. Коленченко. Хабаровск, 1994. 123 с.
17. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2007 году / под ред. Г.Е. Почеревина. Хабаровск: РИЦ ХГАЭП, 2008. 190 с.
18. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Трансформация химического состава вод среднего Амура в зимнюю межень после трансграничного загрязнения 2005 года // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 52–58.

19. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Динамика содержания аммонийного азота в воде среднего Амура в зимнюю межень в 2015–2020 годах // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2020. С. 183–186.

References

1. On Approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of aquatic substances in the waters of water bodies of fishery importance. Order of the the RF Ministry of Agriculture on May 27, 2025 № 366. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/1312971053?marker=6500IL> (accessed on December 1, 2025). (In Russian)
2. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. Transboundary pollution of the Amur with biogenic substances. In *Geography of Asian Russia at the Turn of the Century*. Proceedings of the XI scientific conference of geographers of Siberia and the Far East. 2001, 184. (In Russian)
3. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. The role of the Sungari River in formation of the chemical composition of the Middle Amur water during the winter low-water period. In *Biogeochemical and hydroecological assessments of terrestrial and freshwater ecosystems*. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2003, 106–120. (In Russian)
4. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. The content of ammonium nitrogen in the water of the Middle Amur during the winter low-water period. *Geography and natural resources*. 2003;(2):93–97. (In Russian)
5. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. Long-term dynamics of the content and runoff of ammonium nitrogen in the water of the Middle Amur. *Water management of Russia: problems, technologies, management*. 2015;(2):33–41. (In Russian)
6. PND F 14.1:2.1-95. Measurement Methodology of mass concentration of ammonium ions in natural and waste waters by photometric method with Nessler reagent. Approved by the Ministry of natural resources of the Russian Federation, 20.03.1995. Available online: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293731/4293731098.pdf>. (accessed on December 1, 2025). (In Russian)
7. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M.; Forina, Yu.A.; Ri, T.D. Transboundary pollution of the Amur during the winter low water of 2005–2006. *Geography and Natural Resources*. 2007;(2):40–44. (In Russian)
8. Northeast China in the 1980s: Handbook / Institute of History, Archaeology, and Ethnography of the Peoples of the Far East. FEB AS USSR: Vladivostok, USSR, 1989; 320 p. (In Russian)
9. PND F 2:4. 209-05. Measurement Methodology of mass concentration of ammonium ions in samples of drinking and natural waters by the photometric method in the form of indophenol blue. Approved. Federal State Institution «Federal Center for Analysis and Assessment of Technogenic Impact», 15.06.2005. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/556088168>. (accessed on December 1, 2025). (In Russian)
10. Shi, F.; Li, R. Analysis of Changes in Water Quality of Songhua River in 2003/ *Report on Amur-Okhotsk*. 2005, 3, 87–95. Available online https://www.chikyuu.ac.jp/AMORE/2005.3KyotoSympo/14SHI_F.pdf. (accessed on December 1, 2025).
11. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. Water quality features of the Sungari River. *Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2009;(1):50–53. (In Russian)
12. Assessment of data of joint Russian-Chinese monitoring of water quality of transboundary water bodies in 2008. Rosvodresursy: Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 2009; 108 p. (In Russian)
13. Final Report on the joint Russian-Chinese monitoring of water quality of transboundary water bodies in 2011. Rosvodresursy: Khabarovsk, Russia, 2012; 122 p. (In Russian)
14. Final Report on the joint Russian-Chinese monitoring of water quality of transboundary water bodies in 2012. Rosvodresursy: Khabarovsk, Russia, 2013; 277 p. (In Russian)
15. Final report on the joint Russian-Chinese monitoring of water quality in transboundary water bodies in 2013. Rosvodresursy: Khabarovsk, Russia, 2014; 167 p. (In Russian)
16. The State of the natural environment and nature conservation activities in Khabarovsk Krai in 1993: Report of the Committee on Ecology and Natural Resources of Khabarovsk Krai / Ed. A.A. Kolenchenko. Khabarovsk, 1994; 123 p. (In Russian)
17. State Report on the state and protection of the environment of Khabarovsk Krai in 2007 / edited by G.E. Pocherevin. Khabarovsk: Khabarovsk State Academy of Economics and Law, 2008; 190 p. (In Russian)
18. Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. Transformation of the chemical composition of the Middle Amur waters during the winter low water period after the 2005 transboundary pollution. *Geography and Natural Resources*. 2018;(1):52–58. (In Russian)
19. Shesterkin, V.P., Shesterkina, N.M. Dynamics of ammonium nitrogen content in the water of the middle Amur during the winter low water period in 2015–2020 // Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality. Rostov-on-Don: GHI, 2020, 183–186. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 10.12.2025; одобрена после рецензирования 19.02.2026; принята к публикации 27.02.2026.

The article was submitted 10.12.2025; approved after reviewing 19.02.2026; accepted for publication 27.02.2026.