

УДК 556.114.6

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ И СТОКА АММОНИЙНОГО АЗОТА В ВОДЕ СРЕДНЕГО АМУРА

© 2015 г. В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина

*ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Хабаровск*

**Ключевые слова:** Средний Амур, аммонийный азот, содержание, сток, антропогенная составляющая.

Рассмотрена многолетняя динамика содержания и стока аммонийного азота в воде Среднего Амура. Отмечено снижение стока аммонийного азота в 1,4 раза по сравнению с 1981–2000 гг., доминирование в последние годы нитратного азота в стоке минеральных форм. Дано предположение, что тенденции изменения стока обусловлены преобразованиями на водосборе. Антропогенная составляющая стока в настоящее время формируется за счет р. Сунгари и в большей степени проявляется в зимнюю межень.



В.П. Шестеркин Н.М. Шестеркина

Большие экономические преобразования в бассейне Среднего Амура, прежде всего в китайской его части (рост численности населения, развитие химической промышленности, широкое использование минеральных удобрений и др.), не могли не оказать влияния на вынос растворенных веществ в Охотское море. Среди этих веществ особое место занимает аммонийный азот, концентрация которого лимитирует качество поверхностных вод и определяет биологическую продуктивность водных объектов.

В настоящее время на основе материалов Росгидромета рядом исследователей дана оценка выноса аммонийного азота водами Амура в Тихий Океан в многолетнем аспекте [1, 2]. Зимний же сток этого вещества в наиболее сложный для речных экосистем период, когда в условиях малой водности и большой длительности ледостава влияние антропогенных факторов проявляется наиболее сильно, до сих пор остается слабо изученным.

Цель данной работы – изучение динамики содержания и стока аммонийного азота в воде Среднего Амура в многолетнем аспекте.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидрохимические исследования осуществлялись на р. Амур в 1996–2014 гг. у г. Хабаровска, где площадь водосбора составляет 1 630 тыс. км<sup>2</sup> (87,9 % от общей площади бассейна). Выбор этого участка реки обусловлен его наибольшей гидрологической и гидрохимической изученностью (пункты наблюдений Росгидромета за загрязненностью поверхностных вод Амура между городами Благовещенск и Хабаровск отсутствуют). Пробы воды отбирали с поверхности на 5–6 равномерно распределенных по ширине реки вертикалях: в декабре–марте 1–2 раза в месяц, в период открытого русла (май–октябрь) 1–2 раза за фазу водного режима. На пограничных участках Среднего Амура в районе сел Амурзет и Нижнеленинское – на трех, равномерно расположенных по ширине реки от российского до китайского берега вертикалях. Схема расположения пунктов наблюдений представлена на рис. 1.

Образцы воды анализировали в аккредитованном Межрегиональном центре экологического мониторинга гидроузлов (Аттестат аккредитации № ROCC RU 0001 515988) при Институте водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН). Содержание аммонийного азота в отфильтрованных через мембранные фильтры (0,45 мкм) пробах воды определяли фотометрически по ПНД Ф 14.1:2.1-95 [3], с 2014 г. – по ПНД Ф 14.2:4. 209-05 [4].



Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений на Среднем Амуре.

Сопоставление результатов анализа при параллельном определении по обеим методикам показало хорошую сходимость при предварительной коагуляции проб воды (при цветности выше 20°) гидроксидом алюминия при определении с реактивом Несслера.

В работе использованы материалы Амурского бассейнового водохозяйственного управления Федерального агентства водных ресурсов по гидрологии Бурейской и Зейской ГЭС, данные Дальневосточного управления по гидрометеорологии и контролю природной среды по гидрологии Амура.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первые сведения о содержании аммонийного азота (до 2 % от общего солевого состава) в воде р. Амур у Хабаровска были получены в 1895 г. фармацевтом Бобрицким [5]. Наблюдения на входе городского водовода в 1953 – 1955 гг. свидетельствовали о низкой концентрации (0,01–0,08 мг N/дм<sup>3</sup>) аммонийного азота в зимнюю межень и повышенной в период открытого русла (0,07–0,62 мг N/дм<sup>3</sup>) [6].

С 1975 г. мониторинг за содержанием аммонийного азота начинает осуществлять Росгидромет. Водность Амура у г. Хабаровска в это время определялась в основном зарегулированным стоком р. Зeya (54,7 %). Сток р. Сунгари составлял 35,1, Верхнего Амура – 7,4, р. Бурeya – 2,8 % [7].

Несмотря на доминирование вод р. Зeya в стоке Среднего Амура и высокие концентрации аммонийного азота в воде этой реки (в среднем до 0,65 мг N/дм<sup>3</sup>), его повышенное содержание в амурской воде зимой стало отмечаться с первых лет наблюдений. Высокие концентрации, превышающие ПДК<sub>рх</sub> (предельно допустимые концентрации рыбохозяйственные) в три и более раз, наблюдались в 1977, 1984 и 1987 гг. Максимальная концентрация аммонийного азота достигала 2,26 мг N/дм<sup>3</sup> (1984 г.) [7]. Снижение качества вод Амура в эти годы было обусловлено ухудшением кислородного режима вследствие высоких темпов развития промышленности и сельского хозяйства в бассейне р. Сунгари [8].

Преобладание аммонийной формы в стоке минеральных форм азота отмечалось во все годы наблюдений за исключением 1982 и 1986 гг. Средняя многолетняя концентрация аммонийного азота за период 1975–1988 гг. составила 0,84 мг N/дм<sup>3</sup>, что соответствовало стоку 2124 т/мес. Концентрация и сток нитратного азота были ниже – 0,20 мг N/дм<sup>3</sup> и 507 т/мес. соответственно [9].

Гидрохимические исследования в 1997–2014 гг. позволили более детально рассмотреть многолетнюю динамику содержания и стока аммонийного азота. В многолетнем аспекте в 1997–2003 гг. отмечается небольшое межгодовое варьирование содержания аммонийного азота и незначительное снижение средней многолетней концентрации (0,74 мг N/дм<sup>3</sup>) по сравнению с предыдущим периодом (1975–1988 гг.).

Определенной зависимости между содержанием аммонийного азота и расходами воды в зимнюю межень нет. Пониженные концентрации наблюдались зимой 1999 г. после катастрофического паводка летом 1998 г. в бассейне р. Сунгари, когда большая часть загрязняющих веществ была смыта с поверхности водосбора (см. таблицу). Повышенные концентрации отмечались в средний по водности (2000) и маловодные (2002 и 2003) годы.

Максимальный сток аммонийного азота наблюдался в феврале 2000 г. (7540 т). В маловодные (2002, 2003 гг.) сток был значительно ниже (рис. 2). В среднем сток аммонийного азота в этот период составил 3488 т/мес., т. е. увеличился по сравнению с 1975–1988 гг. в 1,6 раза [7]. Для сравнения: содержание и сток нитратного азота в этот период выросли в 1,8 и 3,3 раза соответственно [9].

Повышенный сток аммонийного азота указывает на активизацию хозяйственной деятельности в бассейне Амура, прежде всего в его китайской части. Об этом свидетельствует характер распределения содержания аммонийного азота по ширине Амура на пограничных участках выше и ниже устья р. Сунгари. Выше устья (в районе с. Амурзет) отсутствовали различия в распределении содержания аммонийного азота по ширине Амура, а концентрации не превышали 0,28 мг N/дм<sup>3</sup>. Ниже устья (в районе с. Нижнеленинское) максимальные концентрации (до 2,42 мг N/дм<sup>3</sup>) наблюдались на фарватере и в китайской части Амура [7].

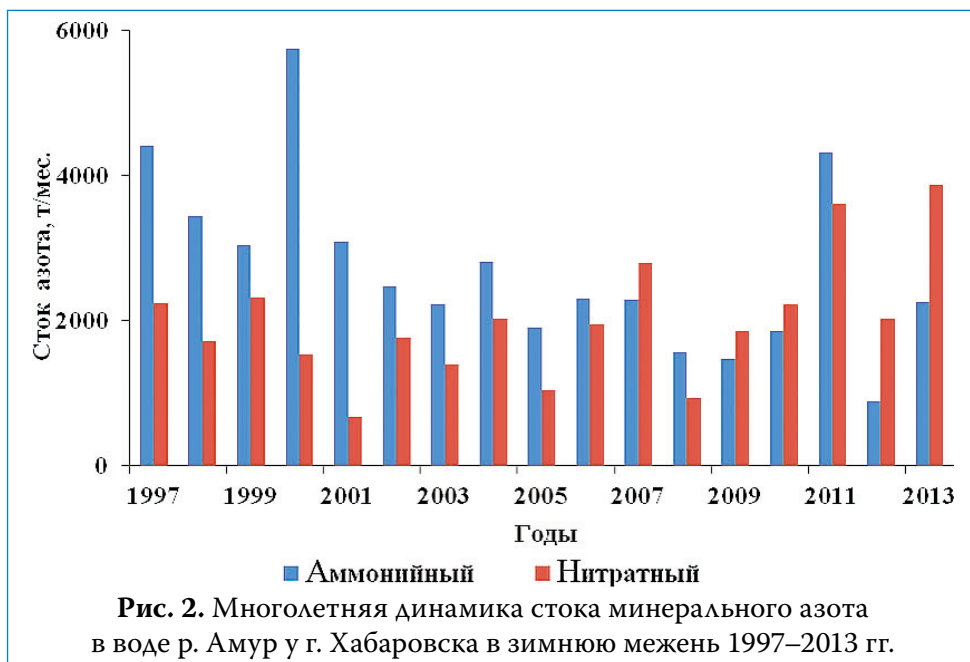


Рис. 2. Многолетняя динамика стока минерального азота в воде р. Амур у г. Хабаровска в зимнюю межень 1997–2013 гг.

**Таблица.** Многолетняя динамика содержания аммонийного азота в воде р. Амур у г. Хабаровска

Год	Содержание аммонийного азота, мг N/дм <sup>3</sup>			
	<i>n</i>	Зимняя межень	<i>n</i>	Открытое русло
1997	17	$\frac{0,66 \pm 0,29}{0,24-1,31}$	13	$\frac{0,43 \pm 0,27}{0,07-0,80}$
1998	15	$\frac{0,68 \pm 0,36}{0,23-1,20}$	15	$\frac{0,19 \pm 0,16}{0,05-0,58}$
1999	26	$\frac{0,53 \pm 0,19}{0,13-0,91}$	14	$\frac{0,32 \pm 0,12}{0,17-0,64}$
2000	29	$\frac{1,26 \pm 0,42}{0,58-2,09}$	21	$\frac{0,76 \pm 0,63}{0,09-2,43}$
2001	33	$\frac{0,59 \pm 0,26}{0,07-0,92}$	5	$\frac{0,26 \pm 0,09}{0,17-0,39}$
2002	24	$\frac{0,79 \pm 0,27}{0,36-1,29}$	4	$\frac{0,30 \pm 0,31}{0,05-0,75}$
2003	40	$\frac{0,71 \pm 0,43}{0,07-1,62}$	-	-
2004	30	$\frac{0,53 \pm 0,20}{0,20-0,88}$	6	$\frac{0,22 \pm 0,15}{0,05-0,48}$
2005	20	$\frac{0,57 \pm 0,33}{0,03-1,02}$	14	$\frac{0,15 \pm 0,19}{0,05-0,59}$
2006	15	$\frac{0,57 \pm 0,25}{0,16-0,88}$	24	$\frac{0,28 \pm 0,15}{0,05-0,67}$
2007	12	$\frac{0,63 \pm 0,31}{0,11-0,95}$	6	$\frac{0,17 \pm 0,12}{0,05-0,33}$
2008	37	$\frac{0,44 \pm 0,28}{0,03-0,84}$	8	$\frac{0,16 \pm 0,19}{0,05-0,54}$
2009	24	$\frac{0,41 \pm 0,18}{0,13-0,75}$	12	$\frac{0,23 \pm 0,09}{0,13-0,41}$
2010	40	$\frac{0,32 \pm 0,23}{0,02-0,79}$	15	$\frac{0,30 \pm 0,10}{0,12-0,47}$
2011	20	$\frac{0,63 \pm 0,25}{0,23-0,95}$	12	$\frac{0,21 \pm 0,14}{0,05-0,40}$
2012	36	$\frac{0,18 \pm 0,07}{0,04-0,40}$	11	$\frac{0,34 \pm 0,09}{0,19-0,52}$
2013	35	$\frac{0,29 \pm 0,18}{0,02-0,61}$	46	$\frac{0,07 \pm 0,08}{< 0,02-0,42}$
2014	26	$\frac{0,23 \pm 0,12}{0,09-0,45}$	14	$\frac{0,05 \pm 0,02}{< 0,02-0,07}$

*Примечание:* в числителе – среднее и среднеквадратичное отклонение; в знаменателе – минимальное и максимальные значения; прочерк – отсутствие данных; *n* – число проб).

В 2004–2009 гг. содержание аммонийного азота по сравнению с предыдущим периодом (1997–2003 гг.) снизилось в 1,4 раза. Улучшение качества вод Амура в эти годы было обусловлено повышением водности р. Бурей и увеличением ее доли в зимнем стоке Амура. После зарегулирования сток ниже плотины Бурейской ГЭС вырос за 2004–2009 гг. в среднем с 220 до 583 м<sup>3</sup>/с, содержание аммонийного азота в воде реки не превышало 0,37 мг N/л [10].

Основные источники поступления аммонийного азота в эти годы, как и ранее, находились в бассейне р. Сунгари. Наблюдения у с. Нижнеленинское в декабре 2005 г. свидетельствовали о повышенном содержании аммонийного азота в китайской части Амура (1,09–1,46 мг N/дм<sup>3</sup>) по сравнению с российской частью (0,38 мг N/дм<sup>3</sup>) [11]. В марте 2006 г. превышение у китайского берега составило 10 раз, в феврале 2008 г. – 8 раз (рис. 3). Выше устья р. Сунгари (с. Амурзет) содержание аммонийного азота по ширине Амура распределялось, как и ранее, относительно равномерно и не превышало 0,27 мг N/дм<sup>3</sup>.

В районе г. Хабаровска наименьшие концентрации, а соответственно, и сток аммонийного азота отмечались в маловодные (2008–2009) годы. Впервые за наблюдаемый период зафиксировано изменение структуры стока минерального азота: преобладание нитратного над аммонийным азотом (см. рис. 2). В среднем сток аммонийного азота в воде р. Амур зимой

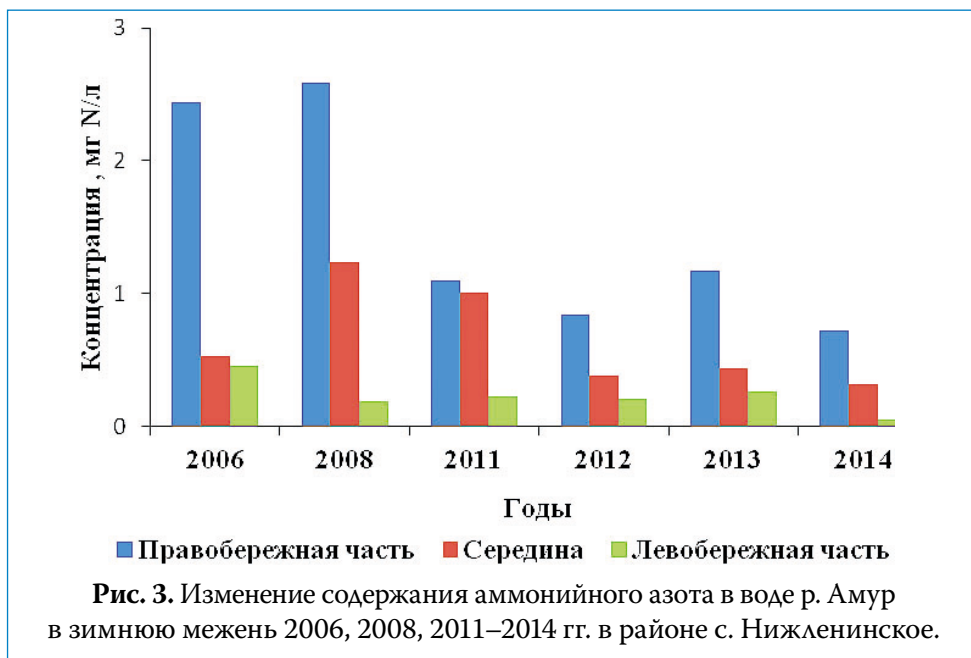


Рис. 3. Изменение содержания аммонийного азота в воде р. Амур в зимнюю межень 2006, 2008, 2011–2014 гг. в районе с. Нижнеленинское.

2004–2009 гг. составил 2057 т/мес., т. е. снизился в 1,7 раза по сравнению с 1997–2003 гг. Последние годы (2010–2014) характеризуются повышенной водностью Амура в зимнюю межень, обусловленной возросшими сбросами воды Зейского и Бурейского водохранилищ (суммарный средний многолетний за зимнюю межень сток составлял 1405–2161 м<sup>3</sup>/с). Наименьшие сбросы воды наблюдались в маловодную зиму 2012 г., максимальные – в 2014 г. после исторического наводнения в бассейне Амура летом 2013 г. Большое влияние на формирование зимнего стока в этот период могли оказывать и водохранилища Китая, но такой информацией авторы данной статьи не располагают.

Концентрации аммонийного азота в зимнюю межень 2010–2014 гг. в среднем составили 0,35 мг N/дм<sup>3</sup>. Наблюдаемое снижение содержания аммонийного азота в воде р. Амур в эти годы обусловлено улучшением качества воды р. Сунгари за счет увеличения количества очистных сооружений (см. рис. 3).

Наибольшие концентрации (см. таблицу) и сток (4316 т/мес.) отмечались в многоводном 2011 г., минимальные – в маловодном 2012 г. (885 т/мес.) и многоводном 2014 г. (1484 т/мес.) после исторического наводнения 2013 г.

Сток аммонийного азота в среднем 2327 т/мес. был незначительно выше по сравнению с 1975–1988 гг. (2124 т/мес.) и 2004–2009 гг. (2057 т/мес.), несмотря на значительно возросший после зарегулирования р. Бурей водный сток Амура в зимнюю межень. В структуре форм минерального азота в основном преобладал сток нитратного над аммонийным азотом (см. рис. 2). Лишь зимой 2011 г. наблюдалась обратная картина. В условиях стабильных сбросов воды рек Зeya и Бурей ниже ГЭС (1610–1693 м<sup>3</sup>/с) в амурской воде отмечалось резкое возрастание водности, вызванное, вероятно, повышенными расходами воды р. Сунгари после наводнения 2010 г. Данное предположение подтверждают материалы гидрохимических наблюдений в районе с. Нижнеленинское, согласно которым в китайской части Амура в зимнюю межень 2011 г., в отличие от наблюдений прошлых лет, отмечались нехарактерные повышенные значения цветности (40°) воды и низкие минерализации (111 мг/дм<sup>3</sup>).

В период открытого русла концентрация аммонийного азота снижается. Среднее за 1997–2014 гг. значение составило 0,25 мг N/дм<sup>3</sup> (см. таблицу), сток – 9623 т/мес. Межгодовые колебания концентраций относительно среднего значения незначительные за исключением 2000 г., когда, как и в зимнюю межень 2000 г., концентрации были максимальные. За период наблюдений, как и в зимнюю межень, отмечается снижение содержания и стока аммонийного азота, обусловленное изменениями на водосборе. В 1997–2003 гг. концентрация и сток аммонийного азота в среднем составляли 0,39 мг N/дм<sup>3</sup> и 14484 т/мес., в 2004–2009 гг. – 0,20 мг N/дм<sup>3</sup> и 6088 т/мес., в 2010–2014 гг. – 0,18 мг N/дм<sup>3</sup> и 8297 т/мес.

В период открытого русла прослеживается слабая положительная связь концентраций аммонийного азота с расходами воды ( $r = 0,30$ ). В половодье и паводки содержание минеральных форм азота повышается, причем в большей степени увеличивается вынос окисленных форм. Во время половодья в мае 2010 г. содержание нитратного азота было выше аммонийного в 2,6 раза. Возросший вынос окисленных соединений минерального азота указывает, с одной стороны, на активизацию хозяйственной деятельности в бассейне Амура, с другой, свидетельствует о том, что процессы нитрификации интенсивно протекают в летний период, обеспечивая утилизацию поступающего аммонийного азота.

Среднегодовой сток аммонийного азота р. Амур у г. Хабаровска за наблюдаемый период (1997–2014 гг.) составил 108 тыс. т. По сравнению с выносом на замыкающем створе (с. Богородское) в 1981–2000 гг. [2] он снизился в 1,4 раза.

### ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ материалов наблюдений свидетельствует о постепенном снижении содержания аммонийного азота, в большей степени – в зимнюю межень: 0,74 (1997–2003 гг.); 0,52 (2004–2009 гг.); 0,35 (2010–2014 гг.) мг N/л соответственно. Значительные колебания характерны для стока аммонийного азота: наибольшие значения наблюдались для периода 1997–2003 гг. (3488 т/мес. зимой и 14484 т/мес. летом), наименьшие в 2004–2009 годы (2057 т/мес. зимой и 6088 т/мес. летом).

Проведенные исследования (1997–2014 гг.) показали снижение годового стока аммонийного азота в 1,4 раза по сравнению с 1981–2000 гг., преобладание в последние годы в стоке минерального азота окисленных форм во все фазы водного режима за исключением летней межени.

Антропогенная составляющая стока аммонийного азота р. Амур формируется за счет стока р. Сунгари, о чем свидетельствуют распределение этого вещества по поперечному и продольному профилю Амура на пограничных участках (с. Амурзет, с. Нижнеленинское). Высокая насыщенность бассейна р. Сунгари промышленными предприятиями и широкое использование минеральных удобрений в сельском хозяйстве создают постоянный риск загрязнения р. Амур аммонийным азотом, особенно в зимний период.

*Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУ «Дальневосточное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», принимавшим участие в отборе проб воды на пограничных участках Амура в 2009–2014 гг.*



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов М.П.* Оценка стока биогенных элементов и его антропогенной составляющей в моря Северного Ледовитого и Тихого океанов // *Гидрохимические материалы*. Л.: ГИМИЗ, 1994. Т. 113. С. 121–137.
2. *Никаноров А.М., Смирнов М.П., Клименко О.А.* Многолетние тенденции общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками России в Арктические и Тихоокеанские моря // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37. № 3. С. 318–328.
3. 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.
4. ПНД Ф 14. 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
5. Приамурские ведомости. 1896. 18 февраля. № 112.
6. *Жданов П.С.* Санитарная оценка р. Амур как источника водоснабжения г. Хабаровск: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Хабаровск, 1957. 24 с.
7. *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.
8. *Шестеркин В.П.* Зимний кислородный режим вод Амура // *География и природные ресурсы*. 2004. № 1. С. 148–151.
9. *Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.* Многолетняя изменчивость стока нитратного и нитритного азота в р. Амур у Хабаровска // *Водные ресурсы*. 2014. Т. 41. № 4. С. 412–418.
10. *Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М.* Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Бурея // *Водное хозяйство России*. 2014. № 4. С. 72–83.
11. *Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Форина Ю.А., Ри Т.Д.* Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005–2006 гг. // *География и природные ресурсы*. 2007. № 2. С. 40–44.

**Сведения об авторах:**

Шестеркин Владимир Павлович, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Шестеркина Нина Михайловна, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: shesterkina@ivep.as.khb.ru