

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ДИНАМИКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА  
В Р. АМУР ВО ВРЕМЯ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ**

**Н.К. Фишер, В.П. Шестеркин, О.Ю. Морозова**

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена, 65,  
Хабаровск, 680000, Россия. E-mail: fisher@ivep.as.khb.ru*

Приведены результаты гидрохимических и микробиологических исследований вод Среднего и Нижнего Амура во время дождевых паводков, длившихся около 3 месяцев. Установлено, что содержание минеральных форм азота, доминирование отдельных его форм, а также процессы аммонификации и нитрификации на различных участках реки значительно различались и зависели от места формирования паводка и его интенсивности.

**BIOGEOCHEMICAL FACTORS OF DYNAMICS OF MINERAL NITROGEN IN THE  
AMUR RIVER DURING RAIN FLOOD**

**N.K. Fisher, V.P. Shesterkin, O.Y. Morozova**

*Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk, 680000, Russia.  
E-mail: fisher@ivep.as.khb.ru*

The results of hydrochemical and microbiological research of the Middle and Lower Amur during flood rain that lasted about 3 months are shown. The content of mineral nitrogen, the dominance of its forms, as well as the processes of ammonification and nitrification in different parts of the river varied considerably and depended on the place of flood formation and its intensity.

Дождевые паводки являются характерной особенностью бассейна р. Амур и имеют частую повторяемость. Их формирование обусловлено выходом в июле–сентябре южных циклонов и тайфунов, несущих много влаги. Формирование паводков в бассейне р. Амур происходит в бассейнах крупных притоков, которые часто могут накладываться друг на друга в основном русле реки.

Для р. Амур характерны пойменно-русловые разветвления, а главное русло реки и ее наиболее крупные рукава имеют особые морфометрические характеристики – большую ширину при относительно малой глубине (Махинов, 2008). В результате данных особенностей реки пойма во время дождевых паводков часто затапливается. Это приводит к обмену между рекой и поймой взвешенными и растворенными веществами, микроорганизмами, и, соответственно, активизируются круговорот различных элементов и трансформация органических веществ. Наибольший интерес вызывает круговорот азота, поскольку он вносит существенный вклад в евтрофирование водных экосистем. Кроме азота почв, во время дождевых паводков в воды рек азот поступает с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей и городских территорий.

В летний период 2009 г. проведены экспедиционные микробиологические и гидрохимические исследования воды р. Амур на участке от г. Благовещенск до с. Савинское (рис. 1). Исследования проводили во время паводка на р. Амур, который сформировался в результате интенсивных дождей, шедших в течение 2–3 месяцев. Численность микро-

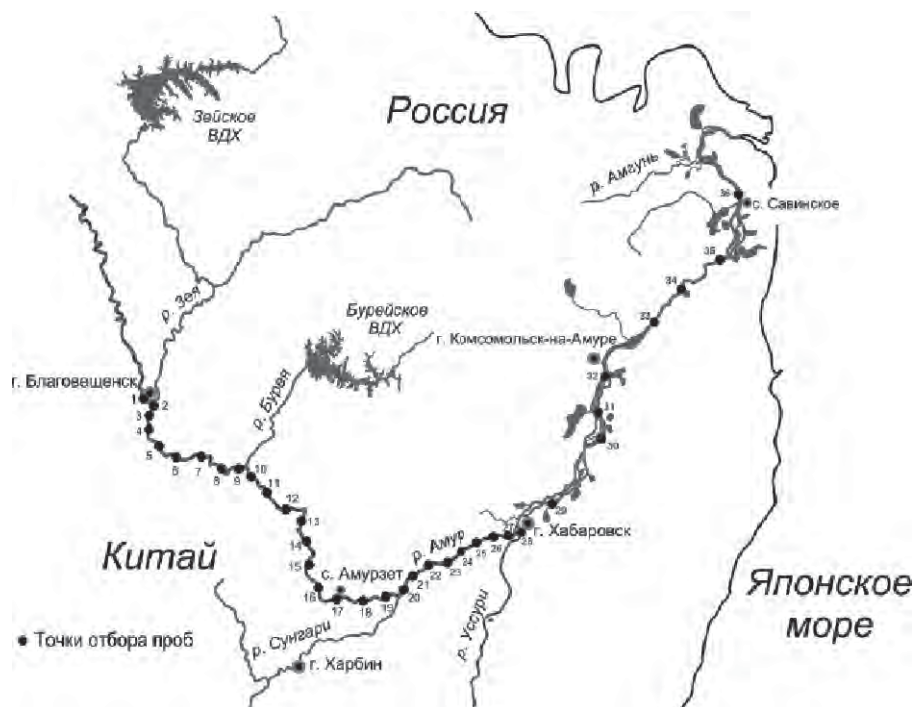


Рис. 1. Карта-схема района исследований

организмов, участвующих в цикле азота (аммонифицирующие бактерии, участвующие в разложении органических веществ до аммиака, нитрифицирующие бактерии, участвующие в окислении аммиака до нитритов и нитратов) исследовалась методом предельных разведений и выражалась в колониеобразующих единицах (КОЕ/мл) (Кузнецов, Дубинина, 1989). Минеральные формы азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) определяли общепринятыми при гидрохимических исследованиях методами.

Исследования показали, что содержание различных форм азота, а также процессы аммонификации и нитрификации на различных участках реки значительно различались и зависели от места формирования паводка и его интенсивности.

На участке р. Амур между устьями рек Зeya и Сунгари доминирующей формой азота была аммонийная, а его концентрация колебалась от 0,25 до 0,5 мг N/л (рис. 2). Паводок, сформированный в бассейне р. Зeya, привел к поступлению с поверхностным стоком аммонийного азота, в результате чего его содержание ниже устья р. Зeya возросло почти в 3 раза (рис. 2). Увеличение аммонийного азота в водах р. Зeya во время дождевых паводков является характерной чертой реки, так как ее притоки дренируют широко распространенные заболоченные территории (Шестеркина и др., 2010). Воды р. Бурeya не внесли значительного изменения в концентрации аммонийного азота в р. Амур. Постепенный рост нитратного азота на участке р. Амур между устьями рек Зeya и Сунгари связан как с биохимической активностью аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий (рис. 3), так и с поступлением его с водами р. Бурeya (рис. 2, точка 10) и поверхностным стоком. В результате деятельности нитрифицирующих бактерий (рис. 3) и активных процессов самоочищения (Фишер, 2010) не происходило образование нитритного азота в водах р. Амур на данном участке.

Наибольший вклад в содержание нитратного и нитритного азота в р. Амур внесли воды р. Сунгари, в бассейне которой в данный момент также был сформирован паводок. Содержание нитратного азота ниже устья р. Сунгари увеличилось по сравнению с выше-

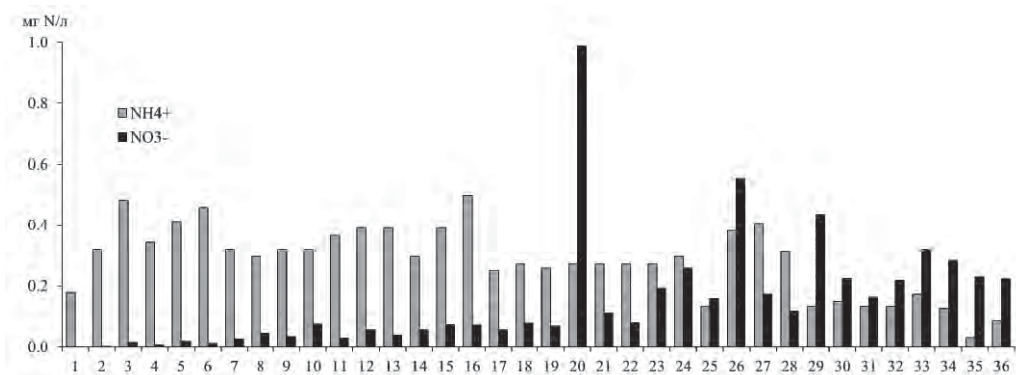


Рисунок 2. Динамика аммонийного и нитратного азота (обозначение точек см. на рисунке 1).

расположенным участком в 14 раз с 0,07 мг N/л до 0,99 мг N/л, а содержание нитритного азота было 0,02 мг N/л. Высокое содержание нитратного азота в водах р. Сунгари и его преобладание над аммонийным связано со смывом азотсодержащих удобрений с сельскохозяйственных полей в Китае (Jingshuang, Junbao, 1999; Yong et al., 2007; Yuhong et al., 2010; Cao et al., 2012). Интенсивное развитие сельского хозяйства в китайской части бассейна р. Амур и активное применение удобрений привело к значительному увеличению в последние десятилетия минеральных форм азота в р. Амур (Шестеркин, Шестеркина, 2011, 2012). Показано, что 74 % минеральных форм азота в бассейне р. Сунгари поступает с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей, а остальные 26 % – с поверхностным стоком городских территорий, с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами (Yong et al., 2007). Во время дождевых паводков доля азота, поступающего с сельскохозяйственных полей значительно возрастает (Jingshuang, Junbao, 1999). Так концентрация нитратного азота увеличивается в 1,5–2 раза, а нитритного более чем в 2 раза. Концентрация аммонийного азота, в зависимости от исследуемого участка р. Сунгари, во время паводков или остается на том же уровне, или снижается до 2 раз (Jingshuang, Junbao, 1999). Это связано с тем, что его источником являются как хозяйственно-бытовые сточные воды, так и поверхностный сток. В период паводков летом 2009 г. также не отмечено увеличения аммонийного азота ниже устья р. Сунгари по сравнению с вышерасположенным участком (рис. 2).

Интенсивное загрязнение р. Сунгари азотом привело к активным процессам аммонификации и нитрификации, что подтверждается резким ростом аммонифицирующих и

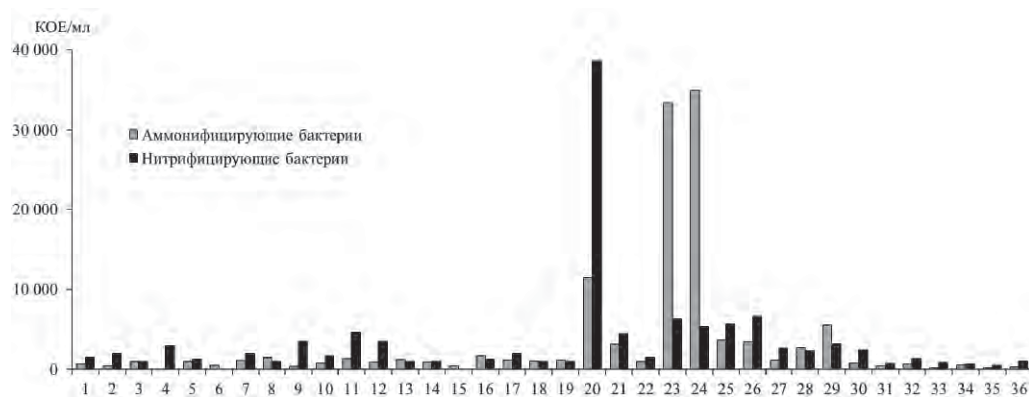


Рис. 3. Динамика аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий (обозначение точек см. на рисунке 1).

нитрифицирующих бактерий (рис. 3). Однако, несмотря на активные микробиологические процессы трансформации минеральных форм азота, на данном участке было отмечено появление нитритного азота в концентрации 0,016 мг N/л. Это говорит о нарушениях цикла азота и может быть связано с ингибирующим действием токсичных веществ. Кроме того, на данном участке, была отмечена очень низкая самоочищающая способность реки (Фишер, 2010). Коэффициент минерализации здесь не превышал 0,19, что говорит о серьезном нарушении процессов нитрификации, и объясняет накопление в водной среде нитритов. Подобное ингибирование нитрифицирующих бактерий, и соответственно, нарушение цикла азота, наблюдалось во время загрязнения в р. Амур нитробензолом зимой 2005 г. и во время весеннего таяния льда 2006 г. (Кондратьева и др., 2009). В результате разбавления загрязнения, выносимого с водами р. Сунгари, а также адаптации микроорганизмов, участвующих в цикле азота, роста их численности (рис. 3) и активности, нитритный азот в водах р. Амур ниже г. Хабаровск уже не отмечался.

Повышенные концентрации нитратного азота на Среднем Амуре ниже устья р. Сунгари по сравнению с вышерасположенным участком связаны не только с их поступлением с водами р. Сунгари, но и с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей с правобережной китайской территории (Cao et al., 2012).

В результате процессов аммонификации и нитрификации, смешивания и разбавления, вниз по течению реки происходила смена доминирующей формы азота (рис. 2). Так ниже г. Хабаровск нитратный азот преобладал над аммонийным. По сравнению со Средним Амуром концентрация аммонийного азота с 0,5 мг N/л снизилась у с. Савинское до 0,09 мг N/л, в то время как нитратного в среднем увеличилась с 0,04 мг N/л до 0,22 мг N/л.

Несмотря на большие паводки в летний период 2009 г. и интенсивный смыв органических веществ с берегов, численность бактерий, участвующих в цикле азота, летом 2009 г. была в 2–5 раза ниже, чем во время сравнимых паводков в летние периоды в 1998 г. (Кондратьева, 2005) и 2006 г. (Кондратьева и др., 2009), что может быть связано с большим разбавлением загрязнения.

Таким образом, показано, что во время дождевых паводков минеральные формы азота поступают в р. Амур из разных источников. На Среднем Амуре от г. Благовещенск до устья р. Сунгари основным источником минеральных форм азота служат затопленные почвы пойм, при этом преобладает аммонийная форма. Воды р. Сунгари вносят значительный вклад в содержание нитратного и нитритного азота, которые поступают с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей, при этом отмечается нарушение процессов нитрификации. Активные процессы аммонификации и нитрификации, разбавление и смешение вод, привели к снижению концентрации аммонийного азота и преобладанию нитратной формы азота на Нижнем Амуре.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Кондратьева Л.М. 2005.** Экологический риск загрязнения водных экосистем. Владивосток: Дальнаука. 299 с.
- Кондратьева Л.М., Фишер Н.К., Бердников Н.В. 2009.** Микробиологическая оценка качества воды в реках Амур и Сунгари после техногенной аварии в Китае // Водные ресурсы. Т. 36, № 5. С. 575–587.
- Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. 1989.** Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука. 288 с.
- Махинов А.Н. 2008.** Влияние гидрологических факторов на экологическое состояние реки Амур // Регионы нового освоения: экологические проблемы, пути решения: матер. межрегиональной научно-практич. конф. Хабаровск, 10–12 октября 2008 г. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. Т. 1. С. 320–324.

- Фишер Н.К. 2010.** Микробиологическая оценка качества воды р. Амур в 2009 г. // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: матер. третьей Всеросс. конф. с междунар. участием. Барнаул, 24–28 августа 2010 г. Барнаул: изд-во АРТ. С. 264–266.
- Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2011.** Содержание и сток минеральных форм азота в воде нижнего Амура в зимнюю межень // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 5. Владивосток: Дальнаука. С. 596–601.
- Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2012.** Пространственная и сезонная изменчивость химического состава воды Среднего Амура // Водное хозяйство России. № 5. С. 18–28.
- Шестеркина Н.М., Таловская В.С., Сиротский С.Е., Шестеркин В.П., Ри Т.Д. 2010.** Условия формирования и качество воды реки Зeya и ее притоков в пределах Зейско-Селемджинской и Амуро-Зейской возвышенных равнин // Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. Хабаровск: ДВО РАН. С. 23–35.
- Caо Y., Tang C., Song X., Liu C., Zhang Y. 2012.** Characteristics of nitrate in major rivers and aquifers of the Sanjiang Plain, China // J. of Environmental Monitoring. V. 10, N. 14. P. 2624–2633.
- Jingshuang L., Junbao Y. 1999.** Dynamic variation of nitrogen content in the Second Songhua River // Chinese geographical science. V. 9, N. 4. P. 368–372.
- Yong Y., Guang C.H., Tian Y.S., Hua H.F. 2007.** Integrated assessment of non-point source pollution in Songhuajiang River Basin // Scientia Geographica Sinica. V. 27. P. 231–236.
- Yuhong Y., Baixing Y., Wanbin S. 2010.** Assessment of point and nonpoint sources pollution in Songhua River Basin, Northeast China by using revised water quality model // Chinese geographical science. V. 20, N. 1. P. 30–36.