

РОЛЬ МОСКОВСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В САМООЧИЩЕНИИ р. МОСКВЫ ПО АЗОТУ

Н.М. Щеголькова, М.Н. Козлов,
Д.А. Данилович, О.В. Мойжес

МГУП "Мосводоканал"



Азот является одним из основных элементов, необходимых для жизнедеятельности живых организмов. Он находится в поверхностных водах в органической (белки, аминокислоты) и минеральной (аммонийные, нитритные, нитратные соли) формах. Концентрация солей аммония, нитратов и нитритов в ненарушенных природных водоемах невелика, однако достаточна для поддержания в них устойчивого состояния биоценоза.

В реках, подверженных антропогенной нагрузке, наблюдается повышенное содержание азота (в сотни раз больше по сравнению с фоновыми значениями). Негативное влияние на речные экосистемы стоков, богатых азотом, определяется следующими причинами:

- ✓ высокой токсичностью аммонийных солей, а также образующихся из них нитрит-ионов по отношению к речным животным;

- ✓ снижением содержания кислорода в результате окисления ионов аммония (около 4 г/г аммонийного азота);

- ✓ бурным развитием водорослей, приводящим к эвтрофикации и вторичному загрязне-

нию водоема автохтонным органическим веществом (ОВ).

Основную роль в процессах превращения азота в водоемах играют микроорганизмы. К процессам, удаляющим азот из водных систем, относятся денитрификация и анаммокс (анаэробное окисление аммония), осуществляемые факультативными или строгими анаэробными микроорганизмами. Другие процессы, такие, как выделение аммиака в атмосферу и удаление азота с выловленной рыбой, малозначимы.

Биологически очищенные воды (БОВ) канализационных стоков могут оказывать влияние на процессы превращения форм азота в водоеме за счет следующих факторов:

- 1) внесения в водоем бактериоценоза, в котором присутствуют бактерии-нитрификаторы;

- 2) формирования анаэробных условий в донных отложениях, стимулирующих протекание процессов денитрификации.

Одним из водотоков, где наиболее выражена как антропогенная нагрузка, так и процессы самоочищения по азоту, является река Москва в среднем и нижнем течении. В настоящее время речные сточные воды, сбрасываемые Курьяновскими и Люберецкими

очистными сооружениями, составляют 55 % общего стока реки. Выпуск Курьяновских очистных сооружений (КОС) расположен в черте города, Люберецких очистных сооружений (ЛОС) — за пределами города (рис. 1).

В рамках производственного экологического мониторинга, осуществляемого службами МГУП "Мосводоканал" с 1951 г. (год введения в строй КОС), ведется ежемесячное наблюдение за показателями качества воды, в том числе за формами минерального азота и биоокисляемым ОВ, оцениваемым по БПК₅, в 14 створах по реке Москве и ее притокам. Кроме того, осуществляется технологический контроль поступающей и очищенной воды всех сооружений. В работе проанализированы данные по следующим точкам наблюдений:

- поступающая вода на КОС;
- очищенная вода выпуска КОС;
- створ "Отдых" (на расстоянии 46 км от выпуска КОС);
- створ "Коломна" (на расстоянии 143 км от выпуска КОС, устье р. Москвы).

Также в 2000 — 2005 гг. производилось лабораторное моделирование процессов самоочищения с использованием специальной установки "Аквабиоценоз" [1].

Процессы самоочищения оценивались по эффективности удаления рекой азота (общего, аммонийного, нитратного, нитритного) по массовым расходам. Массовый расход — произведение концентрации вещества в воде реки (данные получены в результате ежемесячных обследований) и расхода воды в период отбора проб (данные получены в Управлении канала им. Москвы). Гидрохимические и гидрологические данные по створу "Коломна" за период 1995 — 2005 гг. предоставлены

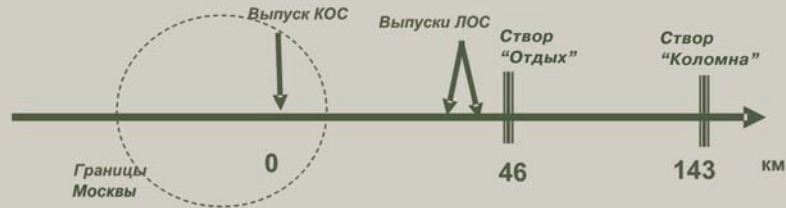


Рис. 1. Расположение выпусков московских очистных сооружений и изучаемых створов

МосЦГМС-Р по запросу от МГУП "Мосводоканал", данные за 1971-1982 гг. взяты из гидрохимических бюллетеней Госкомитета по гидрометеорологии и контролю природной среды за этот период.

Результаты и обсуждение

При расчетах не учитывалось поступление азота на этом участке реки от точечных и рассредоточенных источников Подмосковья. Проведенные исследования свидетельствуют,

последнее десятилетие интенсивность самоочищения по $N_{\text{общ}}$ возросла почти на 30 %.

Самоочищение по аммонийному азоту стало проявляться лишь в последний период (5 % в 70-е и 48 % в 90-е гг. XX в.). При этом общая нагрузка по N в реке (значения массовых расходов по $N_{\text{общ}}$ в створе ниже города) для двух периодов практически не изменились, оставаясь на уровне 130 — 150 т/сут.

Результаты исследований подтверждают, что существенно

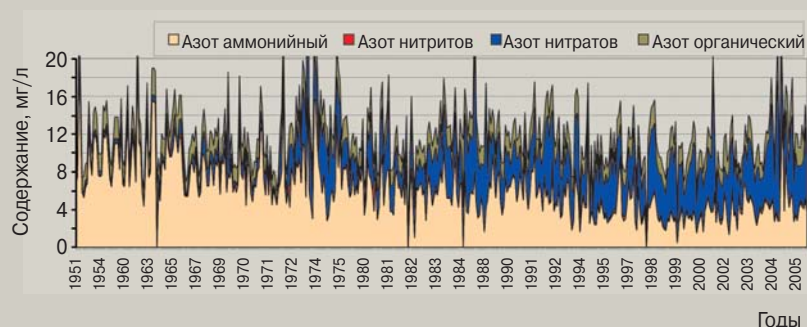


Рис. 2. Изменение содержания различных форм N в воде створа ниже всех городских стоков

что даже без учета этих поступлений в реке происходит самоочищение по азоту. По среднему содержанию $N_{\text{общ}}$ самоочищение на этом участке реки для периода 70-х гг. XX в. составляло 36 % массового расхода ниже города Москвы, а в последнее десятилетие — 47 %. То есть в

изменилось соотношение форм азота в створе "Отдых" (рис. 2). Если до 70-х гг. XX в. в реке ниже города преобладали аммонийные и органические формы азота, то начиная с 70-х гг. значительно выросла доля окисленных (нитритных и нитратных) форм азота.

Характеристика качества воды в створе "Отдых" за характерные периоды с 1951 г. по средним значениям, рассчитанным на основании ежемесячных определений

Период	БПК ₅	Растворенный кислород, мг/л	Температура, °С	Растворенный кислород (дефицит), %	Азот, мг/л			
					общий	аммонийных солей	нитритный	нитратный
1951 – 1965	10,3	5,2	10,0	53	12,8	9,5	0,17	0,57
1966 – 1972	10,0	7,3	11,7	32	11,3	7,7	0,13	1,48
1973 – 1982	7,7	8,3	11,0	24	12,7	6,9	0,13	3,64
1983 – 1996	4,6	7,7	12,7	28	12,5	5,5	0,20	4,30
1996 – 2005	3,0	8,4	13,6	19	11,2	4,0	0,25	5,06



Рис. 3. Относительная гидравлическая нагрузка на КОС (отношение реальной нагрузки к проектной мощности сооружений)

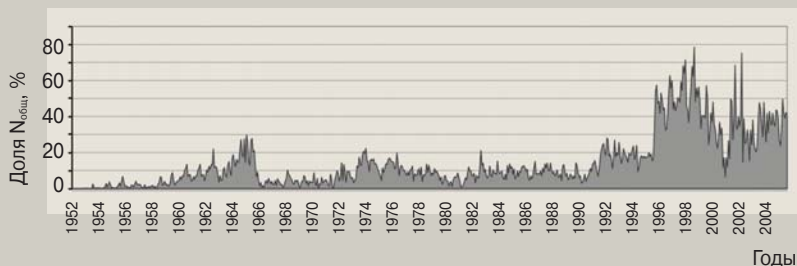


Рис. 4. Доля нитритного и нитратного азота от общего в очищенной воде КОС

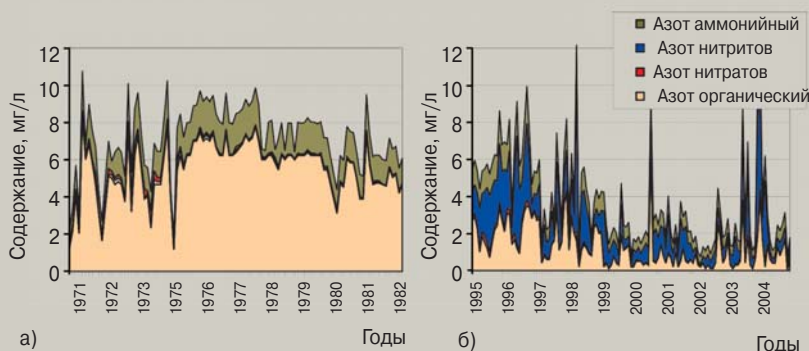


Рис. 5. Содержание форм азота в воде створа "Коломна" (устье реки) в 1971 — 1982 гг. (а) и в 1995 — 2005 гг. (б)

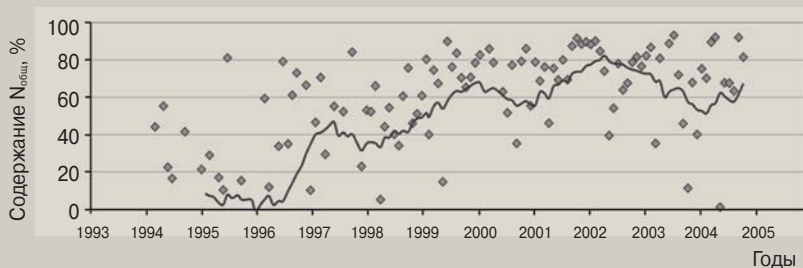


Рис. 6. Динамика самоочищения по Nобщ на участке между створами "Отдых" и "Коломна"

Благодаря постепенному повышению качества очистки сточных вод на московских очистных сооружениях в реке в последнее десятилетие сложились условия для поддержания устойчивого благоприятного кислородного режима, что важно для процесса нитрификации. Анализ данных показал, что нагрузка по ОВ от города непрерывно снижалась. Так, массовый расход ОВ по БПК₅ в 70-е гг. XX в. в реке ниже города составлял 80 — 90 т/сут, а в последнее время — 30 — 40 т/сут. В результате этого среднее содержание кислорода в воде створа "Отдых" увеличилось с 5,2 мг/л (1951 — 1965 гг.) до 7,3 мг/л (после 1965 г.). Дефицит кислорода в среднем снизился от 50 до 30 %, в настоящее время — 19 % (см. таблицу).

Процесс нитрификации в реке тесно связан с началом протекания этого процесса на сооружениях очистки. Эффективность очистки, в свою очередь, зависела во многом от функционирования городских очистных сооружений и, прежде всего, наличия и степени их перегрузки относительно проектной производительности (рис. 3).

В периоды, когда развитие города опережало строительство очистных сооружений и перегрузка последних составляла до 25 % (1965 — 1972 гг.), отмечается минимальная доля окисленных форм азота в очищенной воде (рис. 4). В это время вероятность наличия нитрификаторов в очищенной воде, поступающей в реку, была минимальной.

Однако несмотря на то, что процесс нитрификации на городских очистных сооружениях устойчиво сформировался после ввода Ново-Курьяновской станции аэрации в конце 70-х гг. XX в., только в последнее десятилетие бактерии-нитрификаторы, попадающие в реку с БОВ, стали оказывать влияние на протекание нитрификации в речной воде. Об этом свидетельствует появление окисленных форм азота в створе "Коломна" в 90-е гг. XX в., тогда как в 70-е гг. нитриты и нитраты в реке до "Коломны" практически не отмечались (рис. 5).

Это может быть объяснено не столько повышением количества привносимых в реку нитрификаторов, сколько значительным снижением токсичности (что показывают данные по биотестированию за последние 15 лет наблюдений). Поскольку бактерии-нитрификаторы весьма чувствительны к токсичности воды, то этот фактор мог иметь решающее значение для активизации нитрификации в реке по всему руслу в этот период времени.

Интенсификация удаления $N_{\text{общ}}$ из реки в значительных масштабах началось одновременно с повышением скорости нитрификации (с конца 90-х гг. XX в.) (рис. 6).

Анализ происходящих в реке процессов проведен по сравнению результатов лабораторного моделирования, полевых исследований донных отложений и балансовых расчетов на участке от "Отдыха" до "Коломны".

При моделировании процесса самоочищения в лабораторной установке смешивалась речная и очищенная вода в тех же пропорциях, что и в реальности. Процессы самоочищения оценивались по непрерывному контролю качества воды в реакторах. Через 2 — 3 сут наблюдалось повышение содержания $N-NO_2$ в смеси от 0,2 — 0,4 до 2 — 3 мг/л. Однако, по натурным наблюдениям в р. Москве, через 2 — 3 сут движения воды от выпуска КОС содержание $N-NO_2$ повышалось до 1 — 1,2 и в среднем составляло 0,25 мг/л. Расхождение между данными, полученными в лаборатории, и реальными можно объяснить процессами денитрификации в донных отложениях реки.

Процесс денитрификации возможен только при отсутствии доступного кислорода и протекает в органогенных донных отложениях. Денитрифицирующие бактерии, используя $N-NO_2$ и $N-NO_3$ для окисления ОВ, превращают связанный азот речной воды в свободный азот атмосферы. Для денитрифицирующих бактерий использование $N-NO_2$ предпочтительней, чем $N-NO_3$ [2]. Поэтому образующиеся по всему руслу реки ниже выпусков КОС и ЛОС нитриты преобразуются

бактериями-денитрификаторами в придонном слое воды в N_2 . В последние годы на участке между створами "Отдых" и "Коломна" удаляется азота не менее 50 т/сут, что составляет около 50 % общего поступления азота двух очистных сооружений (КОС и ЛОС).

Проведенный нами расчет удаляемой массы азота на единицу площади дна реки на участке от выпусков БОВ до устья реки позволяет оценить скорость процесса денитрификации ниже КОС и ЛОС в 5 г/(м²·сут). Для средней полосы России характерны следующие значения по интенсивности процесса для разных по уровню загрязненности водоемов. По данным Мартынова М.В. и др. [3], в Косинских озерах (среднего уровня загрязнения) выделение N_2 составляет 100 — 155 мг/(м²·сут), а, по данным Горленко В.М. и др. [4], для чистых озер — 7,7 мг/(м²·сут). Таким образом, интенсивность самоочищения городской реки по азоту в десятки и сотни раз выше, чем в олиготрофных и мезосапробных озерах. Объяснением этому может являться различие в гидравлическом режиме р. Москвы и непроточных водоемов. Органогенные отложения (по сути дела — денитрифицирующий ил) непрерывно взмучиваются течением реки, что формирует большую толщину реакционного слоя, которая, по оценкам, составляет до 30 — 40 см.

Как показали результаты сейсмоакустического профилирования, проведенного в рамках экомониторинга реки, в процессе денитрификации уча-

ствует большая часть площади дна реки, а не только зоны седиментации органогенных илов. По данным геофизических исследований дна в 2003 — 2004 гг., газонасыщенными является более 80 % площади дна реки, включая участки с донными отложениями, которые определялись по отбору проб, как слабо заиленный песок [5]. Это свидетельствует о том, что на этих участках бактериальная деятельность протекает в верхнем слое свежесвыпавшего органического материала. Участок реки ниже выпусков БОВ отличается повышенной температурой воды (река не замерзает зимой до самого устья), что важно для интенсификации процесса денитрификации, так как с увеличением температуры на каждые 10 °С скорость денитрификации увеличивается в 2 раза.

Проведенная работа показывает, что сейчас возможности самоочищения р. Москвы весьма велики, основными процессами самоочищения от избыточного азота являются микробиологические — нитрификация и денитрификация. Интенсивность процессов самоочищения по азоту во многом зависит от видового состава бактериоценоза БОВ московских сооружений очистки, независимо от источника загрязнения реки этим биогенным элементом. В реке формируются зоны, которые в совокупности можно рассматривать как нитри-денитрифицирующий реактор. Этот факт должен учитываться при разработке требований к качеству очистки воды при проведении реконструкции КОС и ЛОС.

Литература

1. Щеголькова Н.М., Козлов М.Н. Применение лабораторного моделирования для прогнозирования качества воды в водотоках-приёмниках очищенных вод // Тез. научн.-практ. конф. НИИ ВОДГЕО. М., 2004.
2. Hiscock K.M., Lloyd J.W., Lerner D.N. Review of natural and artificial denitrification of groundwater. *Wat. Res.* 1991. V. 25. № 9.
3. Мартынова М.В., Попов Л.И., Мурогова Р.Н. О газовом составе воды и илов двух Косинских озер // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2.
4. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. М.: Наука, 1977.
5. Владов М.Л., Калинин В.В., Щеголькова Н.М. и др. Опыт картирования газонасыщенных донных отложений городского участка р. Москвы // Вода и экология. Проблемы и решения. 2005. № 2 (23). ■