

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ характеристики распределения **СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА** в Цимлянском водохранилище

**По многолетним данным государственного мониторинга проведен анализ распределения и временной динамики содержания различных форм азота в Цимлянском водохранилище. Показано увеличение в 2005-2009 гг. по сравнению с 80-ми годами прошлого столетия концентраций азота аммония и нитритов, а также уменьшение нитратов и органического азота на большинстве пунктов наблюдений. Предполагается повсеместное усиление процесса аммонификации; выделены пункты наблюдений и участки, отличающиеся по интенсивности аммонификации и нитрификации.**



## Введение

**В** Цимлянском водохранилище – крупнейшем водохранилище Юга России, в последнее время все чаще наблюдаются признаки кризисного состояния водной экосистемы (снижение биоразнообразия, эвтрофикация и интенсивное «цветение» воды), обусловленного биогенными веществами, важное место среди которых занимает азот, используемый водными растениями для роста и развития.

Исследования уровней содержания соединений азота в Цимлянском водохранилище немногочисленны и, в основном, охватывают 80-е годы прошлого столетия [1, 2], тогда как эвтрофикация водохранилища нарастает и остается причиной негативных изменений в экосистеме водохранилища. Как показывает практика, в отдельные годы интенсивное «цветение» приводит к чрезвычайным ситуациям и сбоям в водоснабжении, как это случилось в 2009 г. в г. Волгодонск [3, 4]. В связи с этим целью настоящего исследования является анализ современного пространственного распределения концентраций различных форм азота и тенденций их многолетних изменений в Цимлянском водохранилище.

**Т.А. Хоружая\***,  
доктор биологических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Учреждение  
Российской академии наук Институт водных проблем РАН

**Е.А. Флик**,  
кандидат химических наук, младший научный сотрудник,  
Учреждение  
Российской академии наук Институт водных проблем РАН

## Материалы и методы исследования

**С**обраны и проанализированы первичные данные многолетних наблюдений подразделений Росгидромета по химическим показателям, полученные из базы данных Гидрохимического института.

Анализ выполнен по данным, характеризующим 5 пунктов (12 вертикалей) наблюдений и охватывающим три участка водохранилища – верхний (речной), центральный (глубоководный) и нижний (приплотинный). На верхнем участке расположены пункты наблюдений «с. Ложки» (одна вертикаль), «поселок городского типа Нижний Чир» (две вертикали), на центральном – «хут. Красноярский» (три вертикали), на приплотинном – «с. Жуковское» (три вертикали) и «г. Волгодонск» (три вертикали) (рис. 1).

Для анализа использованы данные по формам азота, обычно присутствующим в поверхностных водных объектах – азоту аммония, нитритам, нитратам и азоту органическому.

\* Адрес для корреспонденции: khorugajat@mail.ru



**Рис. 1.** Карта-схема расположения пунктов и вертикалей наблюдений Росгидромета на Цимлянском водохранилище.

Проводили статистическую обработку, рассчитывая медианные величины концентраций азота, регрессионные уравнения, характеризующие распределение азота по акватории водохранилища, тенденции временных изменений концентраций в отдельных пунктах и участках водохранилища. Анализ проведен за два периода наблюдений: 2005-2009 гг. (современный период) и 1984-1991 гг. (80-90-е годы, период наиболее интенсивной антропогенной нагрузки на водохранилище).

## Результаты и их обсуждение

**С**овременный уровень и распределение различных форм азота в Цимлянском водохранилище

В воде Цимлянского водохранилища в течение 2005-2009 гг. концентрации аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+$ ) были в пределах 0,09–0,9 мг/дм<sup>3</sup>, нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) 0–0,18 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) 0,04–1,91 мг/дм<sup>3</sup>, азота органического ( $\text{N}_{\text{орг}}$ ) 0,06–1,16 мг/дм<sup>3</sup>. Медианные величины концентраций составили:  $\text{NH}_4^+$  – 0,27–0,39 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{NO}_2^-$  – 0,013–0,023 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{NO}_3^-$  – 0,15–0,23 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{N}_{\text{орг}}$  – 0,27–0,52 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1).

Судя по величинам концентраций, за весь период наблюдений значительные превышения ПДК не зарегистрированы [5, 6]. Однако исследуемые соединения азота определялись в значительной части проб (в 50-100 %), что указывает на хронический характер загрязнения.

Следует отметить, что Цимлянское водохранилище входит в число водохранилищ России с максимально высокими концентрациями биогенных веществ, и его состояние по этому показателю соответствует гипертрофному [7]. Распределение соединений азота  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_{\text{орг}}$  по акватории водохранилища в основном равномерное с максимальными медианными величинами в одном из пунктов (табл. 1). Так, например, максимальные медианные значения концентраций  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NO}_3^-$  регистрируются в воде пункта «хут. Красноярский» (0,023 мг/дм<sup>3</sup> и 0,23 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно), тогда как в воде остальных пунктов величины были ниже (0,013–0,016 и 0,15–0,20 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно).

В отличие от этого, один максимум концентраций  $\text{NH}_4^+$  не выделяется, и высокие значения регистрируются на нескольких пунктах наблюдений (табл. 1). Так, высокие медианные концентрации  $\text{NH}_4^+$  (0,36–0,39 мг/дм<sup>3</sup>) регистрируются в воде у с. Жуковское, пгт. Нижний Чир, г. Волгодонск. Более низкие концентрации  $\text{NH}_4^+$  отмечены у хут. Красноярский, с. Ложки (0,27 и 0,29 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно).

Статистический анализ подтвердил равномерность распределения различных форм азота по акватории водохранилища – отличия в пунктах наблюдений и на участках были незначимыми. Более или менее заметные отличия, судя по уравнению тренда, наблюдаются в распределении по акватории  $\text{NO}_3^-$  – медианные концентрации на нижнем приплотинном участке были явно ниже, чем на верхнем и центральном. Это снижение,

**Таблица 1**

Медианные концентрации (мг/дм<sup>3</sup>) различных форм азота на пунктах наблюдений Цимлянского водохранилища в 2005-2009 гг.

Пункт наблюдений	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{N}_{\text{орг}}$	n*
с. Ложки	0,29	0,016	0,2	0,34	8
пгт. Нижний Чир	0,38	0,014	0,18	0,31	34
хут. Красноярский	0,27	0,023	0,23	0,52	25
с. Жуковское	0,39	0,013	0,16	0,27	39
г. Волгодонск	0,36	0,014	0,15	0,38	40

\*n – число первичных данных для расчета медиан.

**Таблица 2**

Медианные концентрации (мг/дм<sup>3</sup>) различных форм азота на пунктах наблюдений Цимлянского водохранилища в 1984-1991 гг.

Пункт наблюдений	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>орг</sub>	n*
с. Ложки	0,13	0,016	0,44	1,14	11
пгт. Нижний Чир	0,14	0,011	0,33	1,47	11
хут. Красноярский	0,1	0,011	0,32	1,58	22
с. Жуковское	0,07	0,008	0,26	1,56	34
г. Волгодонск	0,11	0,007	0,14	1,3	20

\*n – число первичных данных для расчета медиан.

однако, оказалось статистически незначимым ( $y = -0,012x + 0,22; R^2 = 0,35$ ).

На центральном участке, в глубоководной части водохранилища (хут. Красноярский) наблюдается максимальное содержание NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и N<sub>орг</sub>.

*Временная динамика распределения различных форм азота в Цимлянском водохранилище*

В течение 1984–1991 гг. медианные концентрации NH<sub>4</sub><sup>+</sup> составляли 0,07–0,14 мг/дм<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – 0,007–0,016 мг/дм<sup>3</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0,14–0,44 мг/дм<sup>3</sup>, N<sub>орг</sub> – 1,14–1,58 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 2).

Тренд пространственных изменений почти всех форм азота (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) в 80-е годы был направлен на снижение от с. Ложки к г. Волгодонск, т.е. от верхнего к центральному и приплотинному участкам при значимой статистической достоверности (рис. 2).

Уравнения трендов:

а)  $y = -0,011x + 0,143; R^2 = 0,40$

б)  $y = -0,002x + 0,016; R^2 = 0,90$

в)  $y = -0,067x + 0,499; R^2 = 0,93$

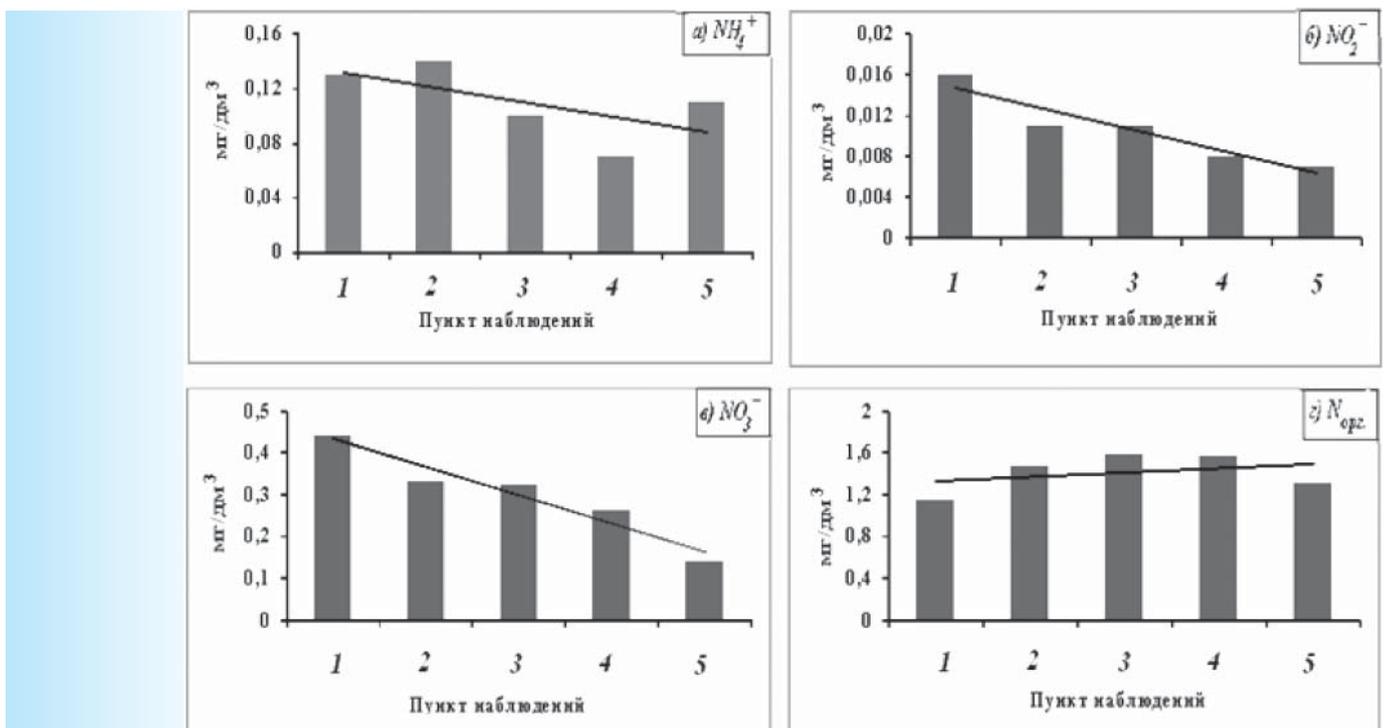
г)  $y = 0,041x + 1,287; R^2 = 0,12$ .

Сопоставление этих величин с величинами, которые регистрируются в современный период, показывает, что по сравнению с 80-90-ми годами в настоящее время на всех пунктах наблюдений значения медианных величин концентраций NH<sub>4</sub><sup>+</sup> возросли. Кроме того, в 80-90-е годы максимальные величины медианных концентраций NH<sub>4</sub><sup>+</sup> регистрировались на верхнем участке водохранилища (с. Ложки, пгт. Нижний Чир), в дальнейшем и в настоящее время максимально высокие концентрации стали обнаруживаться и на приплотинном участке (с. Жуковское, г. Волгодонск). Величины концентраций NO<sub>2</sub><sup>-</sup> также увеличились, а максимум концентраций сместился с верхнего участка к центральному.

Напротив, величины концентраций NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и N<sub>орг</sub> на всех пунктах наблюдений к 2005-2009 гг. снизились. С другой стороны, при общем снижении концентраций остались высокими их величины только на центральном участке (хут. Красноярский), тогда как ранее они регистрировались также на верх-

**Рис. 2.** Тренды пространственных изменений концентраций форм азота (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N<sub>орг</sub>) по акватории Цимлянского водохранилища (1984-1991 гг.)

Пункты: 1 – с. Ложки; 2 – пгт. Нижний Чир; 3 – хут. Красноярский; 4 – с. Жуковское; 5 – г. Волгодонск.



нем ( $\text{NO}_3^-$ ) и приплотинном ( $\text{N}_{\text{орг}}$ ) участках. Таким образом, судя по медианным величинам, к настоящему времени произошли существенные изменения содержания и распределения различных форм азота в Цимлянском водохранилище.

Чем обусловлена временная динамика изменений содержания соединений азота?

Биогенные вещества попадают в водохранилище в составе сточных вод различных предприятий, прежде всего жилищно-коммунального хозяйства. Понятно, что количество соединений азота (как и других загрязняющих веществ) в сточной воде зависит от эффективности работы очистных сооружений, не всегда обеспечивающих очистку сточных вод до установленных нормативов. Связать пространственно-временную динамику соединений азота с источниками загрязнения, по мнению специалистов, затруднительно уже потому, что сточные воды, содержащие азот, подвергаются обработке с различными технологическими регламентами [8].

Следует подчеркнуть, что биогенные вещества поступают в водохранилище из притоков, куда осуществляется сброс сточных вод. Это малые реки: Цимла, Мышкова и особенно Кумшак, куда поступают сточные воды г. Цимлянск. Качество воды здесь оценено как вода «экстремально грязная», и в составе характерных загрязняющих веществ аммонийный и нитритный азот занимают одно из ведущих мест [6].

Существенную роль в загрязнении Цимлянского водохранилища биогенными веществами играют сточные воды сельхозпредприятий, в том числе с животноводческих ферм. Так, Волгодонский ФГУ «Ростовмелиоводхоз» и МУП «ВКХ» сбрасывают ежегодно 10-20 млн. м<sup>3</sup> сточных вод. И это только сточные воды с организованного сброса. Большинство сельхозпредприятий его не имеют, т.е. сбросы слабо или почти не контролируются. Кроме того, азот входит в состав удобрений и поступает в водохранилище в составе стока с водосбора. Воздействию этих источников загрязнения подвержена практически вся акватория водохранилища.

Изменилось ли пространственное распределение соединений азота в водохранилище по сравнению с 80-90-ми годами? Максимальные концентрации азота  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_{\text{орг}}$  регистрируются во все периоды времени в пункте хут. Красноярский (на центральном участке). Расчеты по всему массиву данных за оба периода (1984-2009 гг.) показывают, что по содержанию всех форм минерального азота участки располагаются по убыванию от верхнего к приплотинному участку (рис. 3).

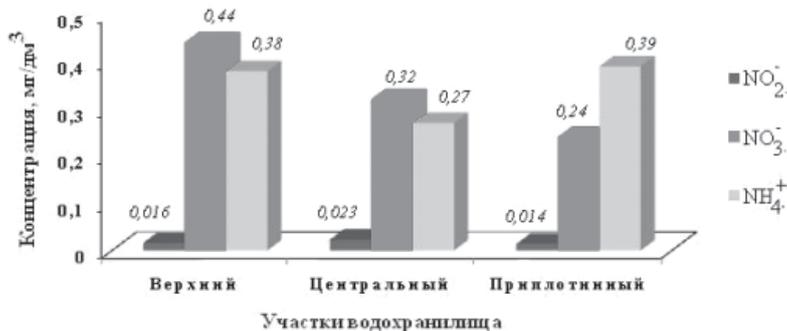


Рис. 3. Распределение минеральных форм азота (максимальные медианные концентрации за 1984 – 2009 гг.) по участкам Цимлянского водохранилища.

Для верхнего участка характерны максимально высокие за оба периода наблюдений концентрации  $\text{NO}_3^-$  (0,44 мг/дм<sup>3</sup>); для центрального – максимальные, по сравнению с другими участками, концентрации  $\text{NO}_2^-$  (0,023 мг/дм<sup>3</sup>), довольно высокие  $\text{NO}_3^-$  (0,32 мг/дм<sup>3</sup>) и максимальные азота органического (1,58 мг/дм<sup>3</sup>) (табл. 1, 2).

Очевидно, что не только антропогенное воздействие оказывает влияние на содержание азота в воде водохранилища. В экосистеме водохранилища активно протекают как эволюционные процессы, связанные с зарегулированием, так и внутриводоемные процессы трансформации вещества и потоков энергии. Полученные данные свидетельствуют об изменении интенсивности процессов превращений различных форм азота. Учитывая, что концентрации  $\text{NH}_4^+$  к 2005-2009 гг. увеличились, следует предполагать рост интенсивности процесса аммонификации, который наблюдается по всему водохранилищу. Это подтверждается повсеместным снижением содержания  $\text{N}_{\text{орг}}$ , что, скорее всего, является следствием усиления разложения органических соединений. Действительно, установлено, что Цимлянский водохранилище характеризуется значительным уровнем деструктивных процессов [1, 2]. Деструкция органического вещества и его окисление в случае недостатка кислорода может происходить при участии  $\text{NO}_3^-$  [9], что, по-видимому, объясняет наблюдаемое снижение содержания  $\text{NO}_3^-$  к 2005-2009 гг.

Сравнение распределения форм азота по участкам акватории водохранилища позволяет полагать, что в настоящее время на центральном участке, где уровень  $\text{NH}_4^+$  относительно невелик, а содержание  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NO}_3^-$  достигает максимальных величин, процессы нитрификации более интенсивны, чем на других участках. Аммонификация здесь, по-видимому, угнетена.

Сопоставление данных по пространственно-временной динамике различных форм азота

с данными по развитию фитоценозов позволит уточнить ход процессов, характеризующих круговорот азота в Цимлянском водохранилище.

## Заключение

Современные параметры концентраций различных форм азота в Цимлянском водохранилище свидетельствуют о незначительных превышениях ПДК при стабильном среднем уровне загрязненности. Распределение медианных ежегодных концентраций соединений азота в большинстве случаев равномерное по акватории с максимумом в отдельных пунктах наблюдений. В 80-90-е годы наблюдалась тенденция снижения содержания минерального азота от верхнего участка водохранилища к приплотинному. В 2005-2009 гг. величины концентраций  $\text{NH}_4^+$  увеличились, возросла распространенность его высоких концентраций. Величины концентраций  $\text{NO}_2^-$  также увеличились, а максимум концентраций  $\text{NO}_2^-$  сместился с верхнего участка к центральному. Полученные данные свидетельствуют об изменении интенсивности процессов превращений различных форм азота за 25 лет наблюдений. Можно предполагать рост интенсивности процесса аммонификации по всему водохранилищу, а также изменения в ходе нитрификации от  $\text{NO}_2^-$  до  $\text{NO}_3^-$ .

## Литература

1. Бессонов О.А. Геохимические циклы органического углерода и азота в Цимлянском водохранилище / О.А. Бессонов, И.Н. Боровлева, Г.М. Кузнецов. Гидрохимические

## Ключевые слова:

водохранилище,  
гидрохимические  
показатели,  
формы азота

материалы. Т. СХІІІ. СПб: Гидрометеоздат, 1994. С 60-66.

2. Бессчетнова С.В. Бактериопланктон Цимлянского водохранилища как показатель степени загрязненности водоема. Гидрохимические материалы. Т.СХІІІ. СПб: Гидрометеоздат, 1994. С. 67-73.

3. Матишов Г.Г. «Цветение» воды в водоемах Юга России и сбоя в водоснабжении (на примере г.Волгодонска) / Г.Г. Матишов, Г.В. Ковалева // Вестник ЮНЦ РАН. 2010, Т. 6, № 1. С. 71-79.

4. Никаноров А.М. Опасность «цветения» Цимлянского водохранилища / А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая, Л.И. Минина, Н.А. Мартышева // Электронный журнал «Исследовано в России», 2010 С. 170-178, <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2010/012.pdf>.

5. Экологический вестник Дона. «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2003 г». Ростов-на-Дону, Администрация Ростовской области. 2004. 262 с.

6. Качество поверхностных вод Российской Федерации: Ежегодник. 2008. Ростов-на-Дону, «НОК». 2009. 1044 с.

7. Пресноводные экосистемы в условиях антропогенного эвтрофирования. Гидрохимические материалы. Т. СХІУ. СПб: Гидрометеоздат, 1999. 265 с.

8. Экологический вестник Дона. «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2008 г». Ростов-на-Дону, Администрация Ростовской области. 2009. 355 с.

9. Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1986. 472 с.



T.A. Horuzhaya, E.A. Flik

## TIME-SPACE CHARACTERISTICS OF NITROGEN COMPOUND IN TSIMLJANSKY WATER BASIN

On annual data of the national monitoring the characteristics of distribution of various forms of nitrogen in the Tsimljansky water basin as well as annual changes have been studied. The increased concentration of ammonium nitrogen and nitrites and

also reduction of nitrates in 2005-2009 years in comparison with 80 years of last century have been shown. The total intensification of ammonification is supposed to take place; the monitoring points and the sites different in ammonification and

nitritification intensity have been established.

**Key words:** water basin, hydrochemical indicators, nitrogen forms