

## МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТОКА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ДНЕСТРА<sup>1</sup>

© 2008 г. Г. П. Гаркавая, Ю. И. Богатова, Н. А. Берлинский,  
В. Н. Большаков, А. Ю. Гончаров

Одесский филиал Института биологии южных морей Национальной академии наук  
65011 Одесса, ул. Пушкинская, 37

Поступила в редакцию 09.11.2007 г.

На основе многолетних наблюдений проведен сравнительный анализ изменчивости стока биогенных веществ Днестра за пятидесятилетний период. По данным еженедельного мониторинга в 2003–2004 гг. рассмотрены внутригодовые изменения в стоке биогенных веществ Днестра и в гидрохимическом режиме Днестровского лимана. Установлено, что вклад стока биогенных веществ Днестра в евтрофирование вод северо-западной части Черного моря, несмотря на буферную роль Днестровского лимана, остается весьма значительным – ~60 тыс. т год<sup>-1</sup>. Основу современного биогенного стока Днестра (70%) составляют растворенные органические соединения.

Вынос биогенных веществ (БВ) со стоком рек-притоков Черного моря и его пространственная и временная изменчивость определяет интенсивность биогидрохимических процессов на устьевых взморьях, способствует формированию в морской среде запасов БВ, за счет которых строится сырьевая база и биопотенциал морской экосистемы. Обогащение природных вод БВ, или евтрофирование, как следствие антропогенного воздействия, приводит к нарушению природной биогеохимической сбалансированности экосистем и химических циклов. Оно особенно интенсивно проявляется в замкнутых и полужамкнутых водоемах. Примером такого негативного антропогенного воздействия служит мелководная северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ), где процесс евтрофирования развивается уже более 30 лет. Последствия евтрофирования – образование полей с “цветением” воды в поверхностных и гипоксией в придонных водах – в СЗЧМ отмечают ежегодно. Антропогенное воздействие на СЗЧМ, площадь водосбора которой (1463000 км<sup>2</sup>) почти в 28 раз превышает площадь водного зеркала (52900 км<sup>2</sup>), главным образом, происходит через сток Дуная, Днестра и Днепра с Южным Бугом. Суммарный годовой сток этих рек (~260 км<sup>3</sup> год<sup>-1</sup>) составляет ~1/7 объема вод северо-западного шельфа [12].

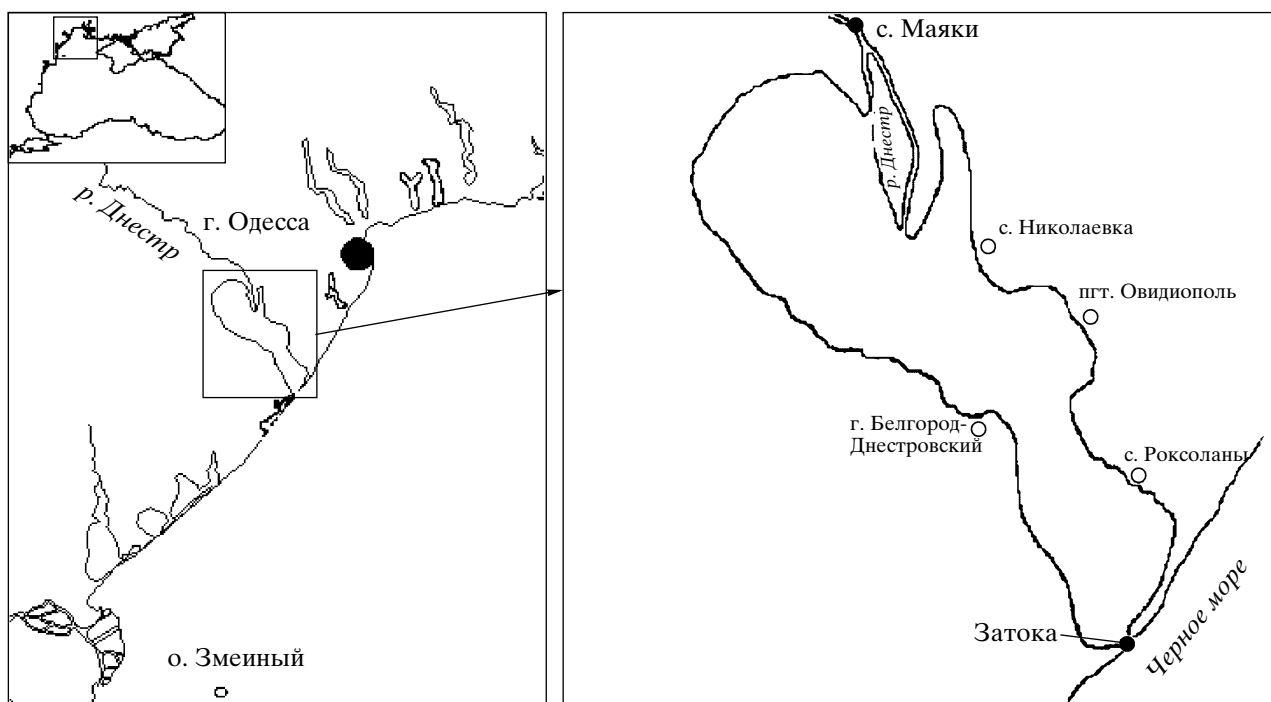
Днестр – одна из крупных рек Украины и Молдовы (современный водный сток – около 10 км<sup>3</sup> год) – берет свое начало на северном склоне Восточных Карпат и далее протекает по Подольскому плато и по степной зоне Украины. Его протяженность

1352 км, водосборная площадь (82 тыс. км<sup>2</sup>) – густонаселенная, урбанизированная территория с высоким промышленным потенциалом и развитым сельским хозяйством. Воды Днестра поступают в один из крупнейших водоемов Северного Причерноморья – Днестровский лиман (площадь водного зеркала 360 км<sup>2</sup>), на взморье которого в половодье происходит объединение трансформированных вод Днестра, Днепра с Бугом и Дуная. Анализ многолетней изменчивости биогенного стока Днестра позволяет выявить некоторые закономерности формирования запасов БВ на взморье лимана для получения прогнозных оценок биопродуктивности этого района СЗЧМ.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для анализа многолетней изменчивости стока БВ Днестра были использованы литературные данные [1, 6, 7, 10, 13] и материалы собственных исследований 1977–1978 (22 съемки) и 1987–1988 гг. (11 съемок), которые выполняли по схеме река (с. Маяки) – лиман (с. Николаевка, г. Овидиополь, с. Роксоланы) – устье лимана (порт Затока). С ноября 2003 по ноябрь 2004 г. еженедельные наблюдения проводили по схеме река (с. Маяки) – устье лимана (порт Затока) (рис. 1). Наблюдались следующие показатели: минерализация воды, соленость, взвешенное вещество (ВВ), растворенные и взвешенные формы N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N<sub>орг</sub>), P (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, P<sub>орг</sub>) и Si, растворенное органическое вещество (ОВ) по перманганатной окисляемости (ПО). Методы определений – стандартные [11].

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке проекта GEF RER/01/G33/A/1G/31/.



Карта-схема станций отбора проб в устье Днестра (с. Маяки) и днестровского лимана (порт Затока) в 2003–2004 гг.

#### КРАТКАЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В гидроэкологическом состоянии Днестра и Днестровского лимана можно выделить три периода. Первый – до зарегулирования стока, когда гидролого-гидрохимический режим формировался природными факторами. В этот период значительные колебания водного стока были связаны с таянием снегов и частыми ливневыми паводками в водосборном бассейне. Второй – частичного зарегулирования стока, когда ввод в действие Дубоссарского водохранилища и ГЭС в 1954 г. привел к снижению скорости течения, уменьшению мутности воды. Третий – ввод в действие Днестровского водохранилища и ГЭС в 1987 г. В этот период водный режим среднего Днестра считается полностью зарегулированным [13].

До зарегулирования водного стока (1951–1953 гг.) основным источником БВ в нижнем течении Днестра и в Днестровском лимане был терригенный сток. Максимальные концентрации БВ приходились на весеннее половодье и осенние паводки [1, 2, 3]. При оценке изменений, происшедших за последующие 50 лет в биогенном стоке Днестра, эти значения можно принимать за “норму” (табл. 1). Суммарный сток БВ в 1952–1954 гг., рассчитанный на основании среднемесячных значений, составлял около 50 тыс. т год<sup>-1</sup>, из них соединения N – 6.2, P – 0.4, Si – 42.7 тыс. т. Сток БВ

по сезонам распределялся следующим образом: зима – 11, весна – 60, лето – 17, осень – 12%.

Исследования 1977–1978 гг. показали, что по сравнению с 1951–1953 гг. концентрации БВ в Днестре значительно возросли – содержание  $\text{NO}_3^-$  в 4,  $\text{PO}_4^{3-}$  – в 5 раз. В лимане отмечали аккумуляцию минеральных и органических соединений N, P и Si. В 1985–1988 гг. воды нижнего Днестра стали еще богаче соединениями N, P [7]. Введение в строй Днестровского водохранилища и ГЭС в 1987 г. привело к сглаживанию внутригодового хода водного стока Днестра, уменьшению проточности лимана. Если в естественных условиях лиман промывался речными водами за год ~19 раз, то после заполнения Днестровского водохранилища 16–17 раз. В связи с этим в лимане значительно возросло содержание БВ. В это время максимальные значения  $\text{NH}_4^+$  достигали 2.5 мг дм<sup>-3</sup>,  $\text{NO}_2^-$  – 0.078 мг N дм<sup>-3</sup>,  $\text{NO}_3^-$  – 3.70 мг N дм<sup>-3</sup>,  $\text{PO}_4^{3-}$  – 0.46 мг P дм<sup>-3</sup>, Si – 7.1 мг дм<sup>-3</sup>, ОВ (по ПО) – 12.2 мг O дм<sup>-3</sup>. В лимане постоянно отмечали “цветение” воды и, как следствие, на отдельных участках в придонном слое – ухудшение кислородного режима. Эти годы – самый напряженный период в экологической обстановке Днестра и Днестровского лимана. Увеличился и годовой объем периодически поступающей в лиман морской воды – с 3.7 км<sup>3</sup> в естественных условиях до

**Таблица 1.** Многолетняя изменчивость гидрохимических показателей в устье Днестра (с. Маяки) и в устье Днестровского лимана (порт Затока) в 1951–2004 гг. (прочерк – отсутствие данных)

| Район исследований, устье | рН   | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N <sub>орг</sub> | P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | P <sub>орг</sub> | Si,<br>мг дм <sup>-3</sup> | ПО,<br>мг О дм <sup>-3</sup> |
|---------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
|                           |      | мг N дм <sup>-3</sup>          |                                |                                |                  | мг P дм <sup>-3</sup>           |                  |                            |                              |
| 1952–1953 гг. [1]         |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
| Днестра                   | 8.20 | 0.121                          | 0.018                          | 0.33                           | –                | 0.019                           | –                | 4.30                       | 6.20                         |
| Лимана                    | 8.20 | 0.015                          | 0.012                          | 0.17                           | –                | 0.028                           | –                | 2.34                       | 3.38                         |
| 1977–1979 гг.*            |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
| Днестра                   | 7.97 | –                              | 0.080                          | 1.29                           | 1.38             | 0.091                           | 0.028            | 4.00                       | –                            |
| Лимана                    | 7.97 | –                              | 0.026                          | 0.71                           | 0.71             | 0.048                           | 0.021            | 2.21                       | –                            |
| 1985–1988 гг.[4, 6] *     |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
| Днестра                   | 7.75 | 0.615                          | 0.191                          | 1.30                           | 0.51             | 0.090                           | 0.041            | 4.41                       | 4.20                         |
| Лимана                    | 7.75 | 0.220                          | 0.110                          | 1.34                           | 0.47             | 0.113                           | 0.190            | 1.00                       | 5.37                         |
| 2003–2004 гг.*            |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
| Днестра                   | 7.44 | 0.073                          | 0.031                          | 0.86                           | 1.70             | 0.074                           | 0.028            | 2.46                       | 2.42                         |
| Лимана                    | 7.44 | 0.025                          | 0.011                          | 0.32                           | 1.43             | 0.018                           | 0.017            | 1.37                       | 2.31                         |

\* – материалы авторов.

4–4.5 км<sup>3</sup> [6, 13]. Поступление обогащенных БВ и ОВ вод из лимана в СЗЧМ способствовало формированию обширных полей с “цветением” воды в поверхностном слое и придонной гипоксией на прилежащем участке взморья.

В 1990-е гг., в период уменьшения водного стока Днестра и спаде в промышленности и сельском хозяйстве на его водосборной площади наметилась тенденция к снижению концентрации БВ и увеличению растворенных ОВ, поступающих из лимана на взморье [4, 5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Устье Днестра.* Гидролого-гидрохимический мониторинг 2003–2004 гг. показал значительную сезонную изменчивость параметров в низовье Днестра (табл. 1, 2). Это свидетельствует о неустойчивом гидрохимическом режиме, на который влияют природные и антропогенные факторы.

Несмотря на существующее представление о том, что сток Днестра полностью зарегулирован [9], колебания уровня у с. Маяки весьма значительны. При среднем значении 94 см размах ежесуточных колебаний составил более метра – от 37 см в сентябре до 139 см в июне 2004 г. Изменения уровня от суток к суткам, судя по периоду, близкому к естественному синоптическому, управляются ветром. Даже при скользящем сглаживании с месячным периодом колебания уровня между весенним половодьем (108 см) и осенней меженью (85 см) величины различались вполне замет-

но. Изменчивость уровня в устье лимана (порт Затока) несколько меньше. При среднем значении 499 см размах ежесуточных колебаний составил 67 см – от 460 до 527 см. Это может быть объяснено демпфирующим эффектом на сгонно-нагонные явления, перемещениями воды между лиманом и морем через Цареградское гирло. При скользящем сглаживании с месячным периодом уровень изменялся между 488 и 511 см, на 23 см.

О неблагоприятном экологическом состоянии экосистемы реки свидетельствуют колебания величины рН в устье от 6.74 до 8.20. Периодически во все сезоны величина рН снижалась до значений <7.00.

Основная форма N в воде нижнего Днестра – N<sub>орг</sub>, на долю которого летом приходилось до 70% общего содержания N. Основная форма минерального N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (табл. 1, 2). Высокие концентрации NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, зафиксированные весной при развитии процессов фотосинтеза, свидетельствуют об их антропогенном происхождении. Летом отмечали уменьшение количества NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, как за счет утилизации фитопланктоном, так и за счет уменьшения поступления с водосборной площади при незначительных осадках. В целом, отмечено снижение концентраций NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в воде Днестра по отношению к периоду 1970–1990 гг., однако они превышали “норму” 1950-х гг. в 2.6 раза (табл. 1).

**Таблица 2.** Средние значения некоторых гидрохимических параметров в р. Днестр (с. Маяки) в 2003–2004 гг.

| Месяц    | Сток,<br>км <sup>3</sup> | Гидрохимические показатели           |                            |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            | ПО,<br>мг О дм <sup>-3</sup> |
|----------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
|          |                          | Минерализация,<br>г дм <sup>-3</sup> | ВВ,<br>мг дм <sup>-3</sup> | рН   | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N <sub>орг</sub> | P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | P <sub>орг</sub> | Si,<br>мг дм <sup>-3</sup> |                              |
|          |                          |                                      |                            |      | мг N дм <sup>-3</sup>          |                                |                                |                  | мг P дм <sup>-3</sup>           |                  |                            |                              |
| Ноябрь   | 0.90                     | 0.65                                 | 6.09                       | 7.75 | 0.110                          | 0.042                          | 0.935                          | 3.56             | 0.062                           | 0.031            | 2.73                       | 1.91                         |
| Декабрь  | 0.85                     | 0.50                                 | 10.79                      | 7.16 | 0.115                          | 0.020                          | 0.922                          | 1.64             | 0.096                           | 0.037            | 2.78                       | 2.20                         |
| Январь   | 0.97                     | 0.48                                 | 21.02                      | 7.33 | 0.157                          | 0.013                          | 1.089                          | 1.95             | 0.084                           | 0.015            | 2.12                       | 1.95                         |
| Февраль  | 0.92                     | 0.50                                 | 3.84                       | 7.45 | 0.178                          | 0.010                          | 0.987                          | 1.01             | 0.082                           | 0.029            | 2.20                       | 1.94                         |
| Март     | 1.03                     | 0.51                                 | 8.25                       | 7.52 | 0.083                          | 0.034                          | 1.047                          | 1.57             | 0.073                           | 0.023            | 2.66                       | 2.23                         |
| Апрель   | 1.09                     | 0.45                                 | 26.73                      | 7.46 | 0.050                          | 0.022                          | 0.956                          | 1.5              | 0.041                           | 0.023            | 2.01                       | 2.29                         |
| Май      | 1.26                     | 0.41                                 | 19.52                      | 7.45 | 0.038                          | 0.050                          | 1.173                          | 1.51             | 0.054                           | 0.013            | 2.68                       | 2.13                         |
| Июнь     | 0.95                     | 0.38                                 | 16.99                      | 7.22 | 0.017                          | 0.069                          | 0.699                          | 2.17             | 0.062                           | 0.025            | 1.88                       | 2.39                         |
| Июль     | 0.85                     | 0.43                                 | 14.45                      | 7.62 | 0.016                          | 0.023                          | 0.368                          | 1.46             | 0.062                           | 0.042            | 1.74                       | 5.86                         |
| Август   | 1.08                     | 0.38                                 | 43.50                      | 7.80 | 0.029                          | 0.028                          | 0.648                          | 0.97             | 0.082                           | 0.044            | 2.88                       | 2.27                         |
| Сентябрь | 0.83                     | 0.41                                 | 19.01                      | 7.68 | 0.040                          | 0.016                          | 0.694                          | 1.19             | 0.098                           | 0.026            | 2.89                       | 1.97                         |
| Октябрь  | 0.82                     | 0.41                                 | 13.66                      | 6.92 | 0.051                          | 0.042                          | 0.650                          | 1.85             | 0.088                           | 0.028            | 2.76                       | 2.22                         |
| Среднее  | 0.96                     | 0.46                                 | 17.27                      | 7.44 | 0.073                          | 0.031                          | 0.855                          | 1.70             | 0.074                           | 0.028            | 2.46                       | 2.42                         |

Содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup> по сравнению с данными предыдущих лет значительно снизилось (табл. 2). Максимальные значения были приурочены к осени и зиме, т.е. к периоду накопления в воде продуктов деструкции ОВ и снижения интенсивности процессов минерализации.

За весь период наблюдений в воде нижнего Днестра отмечали значительные концентрации NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Максимальные значения NO<sub>2</sub><sup>-</sup> соответствовали весне–лету, минимальные – зиме. Несмотря на то, что концентрации NO<sub>2</sub><sup>-</sup> по сравнению с периодом интенсивного антропогенного евтрофирования вод Днестра снизились в 3–6 раз, наблюдаемые значения служат показателем загрязнения речных вод коммунальными стоками.

Содержание минеральных и органических соединений Р изменялось в широких пределах. Максимальные значения PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> приурочены к осени–зиме, минимальные к весне, что связано с разбавлением стока Днестра в половодье и с утилизацией водной растительностью. Отмечено снижение содержания Р по сравнению с 1970–1990 гг.

В воде Днестра растворенные формы N и P преобладали над взвешенными. Весной и летом отмечали некоторое увеличение взвешенных форм, что связано с вегетацией фитопланктона.

Содержание Si – наиболее консервативного показателя, не подверженного антропогенному воздействию, было довольно стабильным. Однако в летние месяцы отмечали его снижение в 1.5–2 раза

(табл. 1, 2). Зарегулирование стока способствовало активному развитию в водохранилищах диатомового фитопланктона, что привело к снижению содержания Si по сравнению с периодом до зарегулирования почти в 2 раза (табл. 1).

Несмотря на то что еженедельные значения растворенного ОВ изменялись в больших пределах – от 1.31 до 15.43 мг О дм<sup>-3</sup>, среднемесячные величины были достаточно стабильными и незначительными – 1.46–3.58 мг О дм<sup>-3</sup>. Максимальные концентрации растворенного ОВ отмечали летом, минимальные – зимой. Сопоставление данных, полученных в 2003–2004 гг., с ретроспективными материалами (табл. 1) указывает на снижение величин ПО в 2–3 раза. Следует отметить, что методика определения ПО за 50 лет сохранилась практически без изменений.

Растворенные ОВ – гуминовые вещества, поступающие с водосборной площади, и продукты деструкции автохтонного ОВ, устойчивые к бактериальному разложению, также как растворенные формы N и P, преобладали над взвешенными ОВ. Процент взвешенного ОВ с усилением деструкционных процессов возрастал летом и уменьшался осенью (табл. 3).

По еженедельным и среднемесячным наблюдениям закономерностей в изменчивости величин ВВ не установлено. Однако по среднесезонным значениям ВВ выявлено увеличение их количества от зимы к лету и далее – уменьшение к осени. Эта закономерность находится в противофазе с величиной общей минерализации днестровской

**Таблица 3.** Соотношение, %, растворенных (1) и взвешенных (2) форм N, P и ОВ (по ПО) в р. Днестр (с. Маяки) в 2003–2004 гг.

| Сезон | Гидрохимические показатели |      |                  |      |                  |      |      |      |
|-------|----------------------------|------|------------------|------|------------------|------|------|------|
|       | N <sub>вал</sub>           |      | P <sub>мин</sub> |      | P <sub>вал</sub> |      | ОВ   |      |
|       | 1                          | 2    | 1                | 2    | 1                | 2    | 1    | 2    |
| Зима  | 82.4                       | 17.6 | 87.2             | 12.8 | 83.5             | 16.5 | 79.1 | 20.9 |
| Весна | 77.4                       | 22.6 | 77.3             | 22.7 | 69.2             | 30.8 | 81.1 | 18.9 |
| Лето  | 77.5                       | 22.5 | 76.8             | 23.2 | 74.5             | 25.5 | 66.0 | 34.0 |
| Осень | 92.3                       | 7.7  | 86.1             | 13.9 | 90.2             | 9.8  | 85.0 | 15.0 |

**Таблица 4.** Среднемесячные значения некоторых гидрохимических показателей в устье Днестровского лимана (порт Затока) в 2003–2004 гг.

| Месяц    | Гидрохимические показатели |                            |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
|----------|----------------------------|----------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
|          | соле-<br>ность, ‰          | ВВ,<br>мг дм <sup>-3</sup> | рН   | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N <sub>орг</sub> | P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | P <sub>орг</sub> | Si,<br>мг дм <sup>-3</sup> | ПО,<br>мг О дм <sup>-3</sup> |
|          |                            |                            |      | мг N дм <sup>-3</sup>          |                                |                                |                  | мг P дм <sup>-3</sup>           |                  |                            |                              |
| Ноябрь   | 15.8                       | 15.52                      | 8.19 | 0.031                          | 0.006                          | 0.215                          | 4.23             | 0.023                           | 0.026            | 1.388                      | 1.87                         |
| Декабрь  | 8.9                        | 23.97                      | 7.64 | 0.041                          | 0.010                          | 0.547                          | 1.93             | 0.031                           | 0.019            | 1.470                      | 2.30                         |
| Январь   | 11.9                       | 9.20                       | 7.47 | 0.023                          | 0.006                          | 0.429                          | 1.59             | 0.055                           | 0.006            | 1.688                      | 2.54                         |
| Февраль  | 15.0                       | 8.73                       | 7.18 | 0.022                          | 0.007                          | 0.305                          | 0.76             | 0.028                           | 0.007            | 1.595                      | 1.46                         |
| Март     | 9.0                        | 12.72                      | 8.51 | 0.011                          | 0.019                          | 0.476                          | 0.31             | 0.007                           | 0.009            | 1.080                      | 1.92                         |
| Апрель   | 5.1                        | 18.95                      | 7.46 | 0.018                          | 0.009                          | 0.312                          | 1.04             | 0.007                           | 0.011            | 0.610                      | 2.12                         |
| Май      | 3.1                        | 16.01                      | 7.59 | 0.014                          | 0.008                          | 0.305                          | 1.58             | 0.004                           | 0.009            | 0.818                      | 2.36                         |
| Июнь     | 7.9                        | 18.69                      | 7.76 | 0.017                          | 0.010                          | 0.203                          | 2.24             | 0.002                           | 0.028            | 1.106                      | 2.64                         |
| Июль     | 6.8                        | 8.85                       | 7.98 | 0.012                          | 0.010                          | 0.358                          | 0.86             | 0.006                           | 0.014            | 1.395                      | 2.92                         |
| Август   | 3.6                        | 35.87                      | 8.57 | 0.021                          | 0.007                          | 0.109                          | 1.16             | 0.011                           | 0.021            | 2.380                      | 3.58                         |
| Сентябрь | 13.1                       | 10.93                      | 8.18 | 0.063                          | 0.025                          | 0.129                          | 1.03             | 0.024                           | 0.025            | 1.040                      | 2.05                         |
| Октябрь  | 7.2                        | 13.35                      | 7.77 | 0.038                          | 0.016                          | 0.428                          | 0.55             | 0.027                           | 0.031            | 1.747                      | 2.19                         |
| Среднее  | 8.89                       | 16.52                      | 7.84 | 0.025                          | 0.011                          | 0.317                          | 1.43             | 0.018                           | 0.017            | 1.373                      | 2.31                         |

воды и объясняется повышением мутности в периоды весеннего половодья и осенних паводков.

*Днестровский лиман.* Предыдущие исследования показали, что лиман выполняет важную роль в трансформации потока БВ из реки в море. Здесь в результате внутриводоемных процессов происходит аккумуляция и создание нового ОВ (табл. 1, 4). Активность фотосинтетических процессов в лимане подтверждалась величинами рН, значения которых в отдельные периоды достигали 8.20–8.50, снижением концентраций минеральных форм N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и Si по сравнению с значениями в реке. Отмечено снижение величин растворенного ОВ по отношению к предшествующим периодам.

Значения солёности в устье лимана (порт Затока) изменялись в диапазоне 1.0–17.8‰, поэтому

для получения реальных данных о количестве поступающих из лимана в море БВ, ОВ и ВВ гидрохимические данные разделили с учетом солёности: <7‰ (45% данных) – лиманная вода и >7‰ (55%) – морская. Сезонная изменчивость гидрохимических параметров в лимане при солёности в устье <7‰ близка изменчивости в устье Днестра (табл. 5). При поступлении морских вод в лиман отмечали снижение диапазона экстремальных и средних значений БВ и ОВ за счет разбавления лиманных вод морскими (табл. 6).

Соотношение минеральных и органических форм N в лимане отличалось от такового в реке – в устье реки среднегодовая доля минерального N составляла 37%, в лиманной воде до 20%. Такие различия в соотношениях минерального и органического N связаны с активным потреблением

**Таблица 5.** Экстремальные и средние сезонные значения некоторых гидрохимических показателей в воде Днестровского лимана (порт Затока) при солености ниже 7‰ в 2003–2004 гг.

| Сезон           | Гидрохимические показатели |                      |                            |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
|                 | диапазон                   | соле-<br>ность,<br>‰ | ВВ,<br>мг дм <sup>-3</sup> | рН   | N-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N <sub>орг</sub> | P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | P <sub>орг</sub> | Si,<br>мг дм <sup>-3</sup> | ПО,<br>мг О дм <sup>-3</sup> |
|                 |                            |                      |                            |      | мг N дм <sup>-3</sup>          |                                |                                |                  | мг P дм <sup>-3</sup>           |                  |                            |                              |
| Зима            | минимум                    | 3.24                 | 7.84                       | 7.21 | 0.006                          | 0.009                          | 0.333                          | 1.15             | 0.003                           | 0.002            | 1.370                      | 2.16                         |
|                 | максимум                   | 6.47                 | 72.71                      | 8.06 | 0.073                          | 0.014                          | 1.542                          | 3.48             | 0.057                           | 0.027            | 1.940                      | 2.47                         |
|                 | среднее                    | 5.39                 | 33.76                      | 7.77 | 0.040                          | 0.012                          | 0.742                          | 2.07             | 0.032                           | 0.022            | 1.630                      | 2.32                         |
| Весна           | минимум                    | 1.00                 | 11.45                      | 6.93 | 0.002                          | 0.006                          | 0.180                          | 0.54             | 0.002                           | 0.010            | 0.400                      | 1.75                         |
|                 | максимум                   | 5.57                 | 27.35                      | 8.68 | 0.023                          | 0.076                          | 0.712                          | 1.99             | 0.021                           | 0.010            | 2.550                      | 2.74                         |
|                 | среднее                    | 3.09                 | 17.71                      | 7.76 | 0.014                          | 0.019                          | 0.341                          | 1.36             | 0.008                           | 0.009            | 0.893                      | 2.25                         |
| Лето            | минимум                    | 2.20                 | 5.10                       | 7.41 | 0.009                          | 0.001                          | 0.049                          | 0.30             | 0.000                           | 0.002            | 1.200                      | 2.02                         |
|                 | максимум                   | 6.90                 | 65.91                      | 8.75 | 0.036                          | 0.010                          | 0.475                          | 2.67             | 0.018                           | 0.038            | 2.550                      | 3.93                         |
|                 | среднее                    | 3.91                 | 30.44                      | 8.20 | 0.020                          | 0.006                          | 0.168                          | 1.56             | 0.008                           | 0.025            | 1.972                      | 3.08                         |
| Осень           | минимум                    | 2.90                 | 10.50                      | 7.20 | 0.029                          | 0.006                          | 0.252                          | 0.67             | 0.033                           | 0.028            | 1.656                      | 1.86                         |
|                 | максимум                   | 6.90                 | 21.67                      | 8.30 | 0.035                          | 0.008                          | 0.827                          | 0.41             | 0.042                           | 0.039            | 2.245                      | 2.32                         |
|                 | среднее                    | 4.43                 | 15.38                      | 7.59 | 0.033                          | 0.006                          | 0.592                          | 0.27             | 0.038                           | 0.034            | 2.002                      | 2.11                         |
| Среднее годовое |                            | 3.89                 | 24.48                      | 7.90 | 0.022                          | 0.011                          | 0.358                          | 1.42             | 0.022                           | 0.013            | 1.556                      | 2.54                         |

**Таблица 6.** Экстремальные и средние сезонные значения некоторых гидрохимических показателей в воде Днестровского лимана (порт Затока) при солености выше 7‰ в 2003–2004 гг.

| Сезон           | Гидрохимические показатели |                      |                            |      |                                |                                |                                |                  |                                 |                  |                            |                              |
|-----------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
|                 | диапазон                   | соле-<br>ность,<br>‰ | ВВ,<br>мг дм <sup>-3</sup> | рН   | N-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | N <sub>орг</sub> | P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | P <sub>орг</sub> | Si,<br>мг дм <sup>-3</sup> | ПО,<br>мг О дм <sup>-3</sup> |
|                 |                            |                      |                            |      | мг N дм <sup>-3</sup>          |                                |                                |                  | мг P дм <sup>-3</sup>           |                  |                            |                              |
| Зима            | минимум                    | 7.87                 | 1.91                       | 6.72 | 0.000                          | 0.002                          | 0.016                          | 0.23             | 0.009                           | 0.007            | 0.77                       | 1.17                         |
|                 | максимум                   | 17.80                | 21.16                      | 8.38 | 0.087                          | 0.012                          | 0.700                          | 2.31             | 0.079                           | 0.008            | 2.70                       | 4.38                         |
|                 | среднее                    | 13.45                | 9.03                       | 7.33 | 0.027                          | 0.007                          | 0.345                          | 1.28             | 0.039                           | 0.018            | 1.56                       | 2.05                         |
| Весна           | минимум                    | 8.96                 | 5.03                       | 7.39 | 0.005                          | 0.000                          | 0.041                          | 0.23             | 0.001                           | 0.004            | 0.42                       | 1.55                         |
|                 | максимум                   | 15.45                | 17.66                      | 8.65 | 0.023                          | 0.005                          | 0.651                          | 0.69             | 0.005                           | 0.013            | 1.00                       | 2.33                         |
|                 | среднее                    | 12.47                | 12.36                      | 8.13 | 0.014                          | 0.002                          | 0.424                          | 0.65             | 0.004                           | 0.01             | 0.79                       | 1.91                         |
| Лето            | минимум                    | 7.50                 | 4.08                       | 6.94 | 0.005                          | 0.000                          | 0.019                          | 1.25             | 0.002                           | 0.009            | 0.47                       | 2.65                         |
|                 | максимум                   | 14.40                | 9.37                       | 8.60 | 0.021                          | 0.033                          | 1.009                          | 1.07             | 0.008                           | 0.016            | 2.35                       | 3.59                         |
|                 | среднее                    | 9.96                 | 6.85                       | 7.87 | 0.012                          | 0.013                          | 0.296                          | 1.29             | 0.004                           | 0.014            | 1.05                       | 2.92                         |
| Осень           | минимум                    | 7.83                 | 1.00                       | 6.75 | 0.001                          | 0.002                          | 0.035                          | 0.46             | 0.007                           | 0.01             | 0.51                       | 1.55                         |
|                 | максимум                   | 17.74                | 35.60                      | 8.35 | 0.137                          | 0.088                          | 0.323                          | 6.07             | 0.04                            | 0.052            | 2.05                       | 2.32                         |
|                 | среднее                    | 14.35                | 12.61                      | 8.04 | 0.042                          | 0.018                          | 0.149                          | 2.25             | 0.021                           | 0.025            | 1.22                       | 1.97                         |
| Среднее годовое |                            | 13.01                | 10.41                      | 7.80 | 0.027                          | 0.011                          | 0.285                          | 1.43             | 0.021                           | 0.021            | 0.015                      | 2.15                         |

его в лимане фитопланктоном, где круглогодично отмечают “цветение” воды.

Сезонное соотношение растворенных и взвешенных форм N и P в лиманной воде также отличались от аналогичных соотношений в реке. Так, зимой и весной растворенные формы N превышали

взвешенные в 2–3 раза, летом и осенью в 5–6 раз (табл. 7).

Такие изменения связаны с активной метаболической деятельностью водных организмов в теплый период года и с усилением деструкционных процессов осенью. Отмечено, как и в 1980-е гг. [8],

**Таблица 7.** Соотношение, %, растворенных (1) и взвешенных (2) форм N, P и ОВ (по ПО) в Днестровском лимане (порт Затока) в 2003–2004 гг.

| Сезон | Гидрохимические показатели |      |                  |      |                  |      |      |      |
|-------|----------------------------|------|------------------|------|------------------|------|------|------|
|       | N <sub>вал</sub>           |      | P <sub>мин</sub> |      | P <sub>вал</sub> |      | ОВ   |      |
|       | 1                          | 2    | 1                | 2    | 1                | 2    | 1    | 2    |
| Зима  | 73.9                       | 26.1 | 72.0             | 28.0 | 62.9             | 37.1 | 49.5 | 50.5 |
| Весна | 72.4                       | 27.6 | 84.2             | 15.8 | 40.9             | 59.1 | 67.0 | 33.0 |
| Лето  | 86.4                       | 15.2 | 54.5             | 45.5 | 27.8             | 72.2 | 80.7 | 19.3 |
| Осень | 82.6                       | 17.4 | 80.4             | 19.6 | 68.4             | 31.6 | 93.2 | 6.8  |

преобладание взвешенных форм P<sub>вал</sub> над растворенными формами летом и осенью, что объясняется его концентрированием во вновь образовавшемся ОВ.

**Таблица 8.** Вынос биогенных и органических веществ, тыс. т год<sup>-1</sup>, из Днестра в лиман и в море при средней величине стока Днестра 7.36 для 1985–1988 и 11.55 км<sup>3</sup> год<sup>-1</sup> для 2003–2004 гг.

| Приемный водоем | Гидрохимический показатель                                 | 1985–1988 гг. | 2003–2004 гг. |
|-----------------|--|---------------|---------------|
| Лиман           | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , тыс. т год <sup>-1</sup>  | 4.53          | 0.84          |
| Море            |  | 1.62          | 0.29          |
| Лиман           | N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , тыс. т год <sup>-1</sup>  | 1.41          | 0.36          |
| Море            |  | 0.81          | 0.13          |
| Лиман           | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , тыс. т год <sup>-1</sup>  | 9.57          | 9.94          |
| Море            |  | 9.84          | 3.67          |
| Лиман           | N <sub>орг</sub> , тыс. т год <sup>-1</sup>                | 3.75          | 19.31         |
| Море            |  | 3.48          | 16.90         |
| Лиман           | N <sub>вал</sub> , тыс. т год <sup>-1</sup>                | 19.26         | 30.45         |
| Море            |  | 15.75         | 20.99         |
| Лима            | P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , тыс. т год <sup>-1</sup> | 0.66          | 0.86          |
| Море            |  | 0.92          | 0.21          |
| Лиман           | P <sub>орг</sub> , тыс. т год <sup>-1</sup>                | 0.30          | 0.34          |
| Море            |  | 2.20          | 0.20          |
| Лиман           | P <sub>вал</sub> , тыс. т год <sup>-1</sup>                | 0.96          | 1.20          |
| Море            |  | 3.12          | 0.41          |
| Лиман           | Si, тыс. т год <sup>-1</sup>                               | 32.46         | 28.44         |
| Море            |  | 11.56         | 15.93         |
| Лиман           | ОВ, тыс. т год <sup>-1</sup>                               | 30.91         | 27.98         |
| Море            |  | 62.08         | 26.88         |
| Лиман           | Σ, тыс. т год <sup>-1</sup>                                | 83.59         | 88.07         |
| Море            | Σ, тыс. т год <sup>-1</sup>                                | 92.51         | 64.21         |

Гидрохимический мониторинг 2003–2004 гг. позволил установить, что при прохождении речных вод через лиман в результате внутриводоемных процессов происходит значительная аккумуляция минеральных и органических соединений N и P. Так, в лимане, по сравнению с устьем реки, содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> снижается почти в 3 раза, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> почти в 4 раза, Si – почти в 2 раза (табл. 1, 5). Содержание ВВ, N<sub>орг</sub> и ОВ в устье лимана сохраняется на уровне значений, наблюдаемых в реке за счет создания нового ОВ. Однако, достаточно высокое содержание ОВ в водах, поступающих из лимана в море, по-прежнему приводит к развитию евтрофирования на взморье.

Было проведено сравнение поступления минеральных и органических соединений N, P, Si, растворенного ОВ из Днестра в лиман, а затем в море за периоды, наиболее обеспеченные гидрохимическими данными – 1985–1988 и 2003–2004 гг. (табл. 8).

Сравнение показало, что сток минеральных и органических соединений Днестра возрос с 83.59 тыс. т год<sup>-1</sup> в средний по водности период 1985–1988 гг. до 88.07 тыс. т год<sup>-1</sup> в многоводные 2003–2004 гг. за счет значительного поступления в лиман органических соединений N из реки. Поступление в море этих соединений снизилось в последний период до 63.58 тыс. т год<sup>-1</sup> за счет ассимиляции в лимане минеральных соединений N и P.

## ВЫВОДЫ

Анализ долгопериодных изменений (1952–2004 гг.) содержания ВВ и ОВ в водах нижнего Днестра показал, что в 2003–2004 гг. концентрации NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> снизились до уровня 1950–1953 гг. Отмечено снижение содержания Si, связанное с зарегулированием стока и его оседанием в водохранилищах, рост концентраций NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и N<sub>орг</sub>. Аналогичные тенденции наблюдаются и в водах, поступающих в СЗЧМ из Днестровского лимана.

Сравнение потерь БВ при прохождении днестровской воды через лиман показало, что в лимане отмечена активизация процессов аккумуляции минеральных соединений N, P и Si. Если в 1952–1953 гг. лиман аккумулировал до 26% этих соединений, то в 2003–2004 гг. этот процесс стал интенсивнее – ~50%.

Вклад стока БВ Днестра в эвтрофирование вод СЗЧМ, несмотря на буферную роль Днестровского лимана, остается весьма значительным – ~60 тыс. т год<sup>-1</sup>, из которых ~ 20 тыс. т год<sup>-1</sup> – минеральные соединения N, P и Si и ~ 44 тыс. т год<sup>-1</sup> – растворенные органические соединения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов А.М. Гидрохимия устьевых областей рек. Киев: Изд-во АН УССР, 1962. 255 с.
2. Алмазов А.М., Денисова А.И. Гидрохимия Днестровского лимана. Киев: Изд-во АН УССР, 1955. 137 с.
3. Алмазов О.М. Стік розчинених солей і біогенних речовин які виносяться річками УРСР у Чорне море // Наук. записки Одеської біологічної станції. 1961. Вип. 3. С. 90–107.
4. Гаркавая Г.П., Берлинский Н.А., Богатова Ю.И., Гончаров А.Ю. Районирование украинского сектора северо-западной части Черного моря (по гидрофизическим и гидрохимическим характеристикам) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2000. С. 9–24.
5. Гаркавая Г.П., Берлинский Н.А., Богатова Ю.И. и др. Проблемы антропогенного эвтрофирования Днестра и Днестровского лимана и их влияние на северо-западную часть Черного моря (СЗЧМ) // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Біологія. Спеціальний вип. “Гідрологія”. 2005. № 3(26). С. 74–76.
6. Гидробиологический режим Днестровского лимана / Под ред. Брагинского Л.П. Киев: Наук. Думка, 1992. 356 с.
7. Жданова Г.А., Шевцова Л.В., Кузько О.А. и др. Экологическая оценка качества воды нижнего Днестра // Гидробиол. журн. 1995. Т. 31. № 6. С. 22–34.
8. Зубкова Е., Шленк Д. Современное состояние качества реки Днестр // Интегрированное управление природными ресурсами трансграничного бассейна Днестра. Кишинев: Есо-TIRAS, 2004. С. 128–132.
9. Проект “Моря СССР” / Под ред. Терзиева Ф.С. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. Т. IV. Вып. 1. 430 с.
10. Ропот В.М., Стратулат Г.В., Санду М.А. Проблемы качества, использования и охраны водных ресурсов ССР Молдовы. Кишинев: Штиинца, 1991. С. 3–112.
11. Руководство по методам химического анализа морских вод. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
12. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. Киев: Наук. думка, 2006. С. 25–26.
13. Шевцова Л.В. Гидробиологические исследования Днестра: итоги, проблемы, пути их решения // Гидробиол. журнал. 1998. Т. 34. № 6. С. 35–44.