

БИОГЕННЫЙ ВЫНОС В ДНЕСТР С ТЕРРИТОРИЙ МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ

*Нелли ГОРЯЧЕВА, Виорика ГЛАДКИЙ, Георге ДУКА,
Елена БУНДУКИ, Ольга ШУРЫГИНА*

Молдавский государственный университет

**DEVERSĂRILE DE BIOGENI ÎN APELE R. NISTRU DE PE
TERITORIILE BAZINELOR HIDROGRAFICE MICI**

În lucrarea de față sunt prezentate rezultatele cercetărilor realizate pe teren privind conținutul și dinamica anuală a biogenilor în apele afluenților de dreapta ai Nistrului – Răut, Ichel, Bâc, Botna. Scopul cercetărilor rezidă în: estimarea deversărilor cu apele afluenților, prin intermediul punctelor de confluență, a compușilor minerali ai azotului și fosforului în apele Nistrului; evaluarea încărcăturii de nutrienți deversate cu apele afluenților pe tronsonul moldovenesc în cursul principal de apă.

Cuvinte-cheie: afluenți, r. Nistru, biogeni, compuși ai azotului și fosforului.

THE BIOGENIC REMOVE IN THE DNIESTER FROM THE SMALL CATCHMENTS

The report presents the results of field researches, content and dynamics of the biogenic components in the waters of the right bank tributaries of the Dniester river – Raut, Ikel, Bic and Botna. The purpose of this paper - the estimate of the removal with tributaries via alignments of mineral nitrogen substances and the phosphorus in the Dniester river waters and the calculations of biogenic loading from the tributaries to the moldavian section of the main watercourse.

Keywords: tributaries, Dniester r., nutrient components, nitrogen compounds and phosphorus.

Введение

Содержание в воде биогенных компонентов в значительной степени определяет качество любого водного объекта, его трофический статус. Избыточные их количества способствуют увеличению биологической продуктивности водного объекта и развитию негативных экологических процессов эвтрофирования, приводящих к нарушению устойчивости водной экосистемы – ухудшению качества вод, снижению содержания растворенного кислорода, увеличению мутности, изменению видового состава гидробионтов, в том числе – фитопланктона, способствуя «цветению» вод. Эвтрофирование водных систем является глобальной экологической проблемой.

Сток трансграничного Днестра, протекающего по территории Украины и Молдовы, непосредственно влияет на состояние и формирование экосистемы Днестровского лимана и прибрежной зоны Черного моря, с которой лиман свободно сообщается. Бассейн участка Днестра, проходящего через Молдову (657 км), занимает 26,7% общей водосборной площади реки [1]. На территории страны с правого берега в Днестр поступают воды четырех крупных притоков – Рэута, Икеля, Быка, Ботны. В пределах бассейнов этих рек расположены крупные населенные пункты, находятся диффузные и точечные источники загрязнения. Водный сток, сформировавшийся к их устьевым (замыкающим) створам, контролирует перенос веществ с водосборных площадей, характеризуя нагрузку на основной принимающий водоток – Днестр. Перенос химических компонентов теоретически обусловлен естественной и антропогенной составляющими. Однако с середины прошлого столетия естественные условия формирования водного и химического стоков малых рек Молдовы, в том числе и изучаемых притоков Днестра, нарушены техногенным вмешательством, в результате чего их водосборные площади оказались распаханнными в среднем на 65%, русла рек спрямлены и обвалованы, сток зарегулирован прудами и водохранилищами [1-2]. Изучение количественной оценки вклада малых водотоков – важное направление водоохранной деятельности, поскольку от экологической ситуации в малых бассейнах во многом зависит объем выноса загрязнений в главную водную магистраль страны – реку Днестр.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись правые притоки Днестра – Рэут, Икель, Бык, Ботна, суммарный водосбор которых составляет 63.9% от водосборной площади Днестра в границах Молдовы. Динамика и перенос биогенных веществ изучались в створах, расположенных максимально близко к устьям (в 500-700 м), т.е. в замыкающих створах.

При отборе проб воды в створах рек замерялась ширина реки, глубины через 0,5 или 1,0 м и скорость водного потока с помощью поплавков. В устьевой части реки Бык гидрологическая часть работы не проводилась, поскольку состав вод представлял угрозу здоровью исследователей.

Гидрохимические исследования проводились в 2009-2011 гг. и включали полевые и лабораторные работы. Отборы проб воды производились в пластиковые бутылки в постоянных створах наблюдения 4-9 раз в год. Они сопровождалась замерами гидрометрических параметров малых рек – скорости течения водного потока на 2-3 промерных вертикалях, ширины и глубины через 0,5-1,0 м, расчетами расходов воды.

В лабораторных условиях выполнялись анализы проб воды на содержание минеральных форм азота и фосфора NH_4^+ , NH_3 , N-NH_3 , NO_2^- , N-NO_2^- , NO_3^- , N-NO_3^- , PO_4^{3-} и расчеты биогенной нагрузки. Определение компонентов осуществлялось не позднее 24 ч после взятия проб по методикам Nash Company, USA [3]. Расчет биогенной нагрузки производился по формуле:

$$P = C_{ai} \cdot W_{ai},$$

где: C_{ai} – среднеарифметическая концентрация биогенного компонента в замыкающем створе притока, W_{ai} – среднегодовой сток воды в замыкающем створе.

Для расчетов использованы данные среднего годового стока рек в устьевых створах, полученные в 2009-2011 гг., а также материалы многолетних наблюдений Государственного водохозяйственного концерна «АКВА», а также МКО УкрНИИГиМ [4-5].

Полученные результаты и их обсуждение

В период проведения исследований отмечался устойчивый водный режим всех водотоков. Наибольшей водностью и скоростью течения водного потока характеризовался Рэут, наименьшей – Ботна. В Ботне в летнюю межень водность эпизодически снижалась, наблюдались случаи практически «стоячей воды», когда в Днестр из реки поступало небольшое количество стока, образующегося при переходе реки на грунтовое питание. Внутригодовые флуктуации морфометрических параметров всех рек были значительными (табл.1).

Таблица 1

Гидрометрическая характеристика замыкающих створов рек в 2009-2011гг.

($\frac{\text{среднее}}{\text{варьирование}}$)

Река	Параметры поперечного сечения		Гидравлические элементы	
	ширина, м	глубина, м	скорость, м/с	расход воды, м ³ /с
Рэут	<u>16.7</u> 12.0-21.0	<u>0.43</u> 0.31-0.64	<u>1.0</u> 0.6-1.36	<u>6.78</u> 3.2-10.25
Икель	<u>4.8</u> 2.7-8.2	<u>0.22</u> 0.12-0.40	<u>0.32</u> 0.20-0.59	<u>0.27</u> 0.06-0.64
Ботна	<u>6.0</u> 2.0-9.0	<u>0.48</u> 0.15-0.66	<u>0.16</u> 0.08-0.32	<u>0.25</u> 0.07-0.42

Полученные результаты по характерным параметрам устьевых створов рек и пределам их колебания во времени согласуются с многолетними наблюдениями, выполненными Водохозяйственным концерном «АКВА» и Гидрометеослужбой [4-5] (табл.2).

Таблица 2

Гидрометрические параметры притоков Днестра по литературным данным [4-5]

Река	Длина реки, км	Водосборная площадь (F), тыс. км ²	Среднегодовой сток		Впадает в Днестр, км от устья
			млн. м ³	м ³ /с	
Рэут [4]	286	7.76	313.15	9.93	342
Икель [4]	101	0.814	20.5	0.65	322
Бык [5]	155	2.15	184.0	5.83	225
Ботна [4]	152	1.54	33.6	1.07	205

В водах изученных притоков в замыкающих створах в 2009-2011 гг. присутствовали значительные количества биогенных компонентов. Тенденция суммарного поступления и загрязнения вод притоков общим минеральным азотом и общим минеральным фосфором была схожей. По степени загрязненности водных масс реки расположились в следующий ряд: Бык > Икель > Рэут > Ботна.

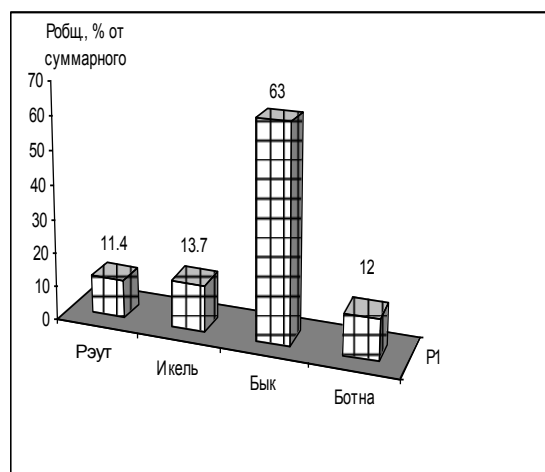
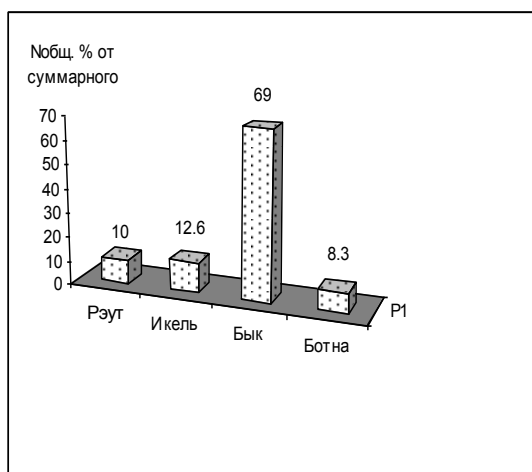
В период исследований средние концентрации $N_{\text{общ}}$ (сумма аммонийного, нитритного и нитратного) составляли по притокам 2.53-21.04 мг N/л, изменяясь в диапазоне от 0.00-46.71 мг N/л. Усредненные величины общих количеств минерального фосфора в реках составляли 1.95-10.24 мг P/л с амплитудой колебания 0.00-23.50 мг P/л.

В водах Быка среднее содержание общего минерального азота и фосфора в 5-8 раз превышало усредненные за период концентрации в других притоках (табл.3). В его водах отмечались наибольшие количества минерального азота и фосфора относительно суммарного содержания компонентов ($N_{\text{общ.}}$, $P_{\text{общ}}$) – 69 и 63 % соответственно (рис.1).

Таблица 3

Содержание биогенных элементов в водах рек в замыкающих створах

Река	Среднее диапазон колебания	N/NH_4^+	N/NO_2^-	N/NO_3^-	$N_{\text{общ.}}$ мг/л	PO_4^{3-} мг/л	$P_{\text{общ}}$ мгP/л
		мг N /л					
Рэут	Средн. мин.-макс.	<u>0.40</u> 0.0-1.91	<u>0.026</u> 0.003-0.15	<u>2.65</u> 0.5-8.02	<u>3.08</u> 0.50-10.08	<u>1.96</u> 0.43-11.42	<u>0.70</u> 0.40-3.73
Икель	Средн. мин.- макс.	<u>0.94</u> 0.14-2.38	<u>0.051</u> 0.004-0.26	<u>2.85</u> 0.1-7.74	<u>3.84</u> 0.24-10.38	<u>2.44</u> 0.33-8.45	<u>0.84</u> 0.03-2.75
Бык [6]	Средн. мин.- макс.	<u>18.80</u> 2.55-39.6	<u>0.125</u> 0.004-0.608	<u>2.12</u> 0.1-6.5	<u>21.04</u> 2.65-46.71	<u>10.24</u> 1.13-23.5	<u>3.85</u> 0.26-7.90
Ботна	Средн. мин.- макс.	<u>0.43</u> 0.0-1.47	<u>0.041</u> 0.0-0.101	<u>2.06</u> 0.0-8.82	<u>2.53</u> 0.00-10.39	<u>1.95</u> 0.0-11.67	<u>0.73</u> 0.07-3.81



а)

б)

Рис.1. Процентное содержание общего минерального азота (а) и фосфора (б) от суммарных количеств компонентов

В формировании стока минеральных азотистых веществ наблюдались различия в долевом участии и доминировании той или иной формы. В составе минеральных форм азота в водах Рэута, Икеля и Ботны преобладали нитраты, количество которых от $N_{\text{общ.}}$ было, в среднем, соответственно, 86; 74,2; 81,4%, доля N/NH_4^+ составляла, соответственно, 13; 24,5 и 17%. В Быке доминировали ионы аммония,

достигая 89,5% от общей средней концентрации минерального азота, нитратов присутствовало лишь 10,1%. Воды устьевых участков всех изученных рек характеризовались наименьшим долевым участием нитритов в составе $N_{общ}$: в Быке и Рэуте оно не превышало 1% (0,6-0,8%), в Икеле и Ботне – 1,3-1,6%.

На протяжении исследований происходило экстремальное повышение концентраций биогенных компонентов: в водах Быка – аммонийных ионов до 39,6, нитритов до 0,608 мг N/л, фосфатов до 23,5 мг/л; в Рэуте, Ботне и Икеле фосфатов – до 8,45 -11,67 мг/л соответственно (табл.3).

Внутригодовая динамика минеральных биогенных веществ носила индивидуальный характер для каждого из притоков. Вместе с тем для некоторых форм азота и фосфора сохранялась общая тенденция достижения максимумов и спада в содержании компонентов. Количества аммонийных ионов возрастали зимой и в начале весны в Рэуте, Икеле и Быке, в Ботне это происходило летом. Повторное увеличение отмечено для всех рек осенью (рис.2).

Флуктуации концентраций нитратного азота внутри годового цикла были сходны для Рэута, Икеля и Ботны. Его содержание после зимнего максимума постепенно снижалось к началу лета, резко увеличиваясь в середине лета, с последующим возрастанием к осени. В водах Быка максимум N/NO_3^- отмечен в апреле и слабое его повышение летом.

Для динамики нитритов характерно максимальное содержание его в Рэуте весной, летом в Быке, осенью – в Икеле и Ботне (рис.2).

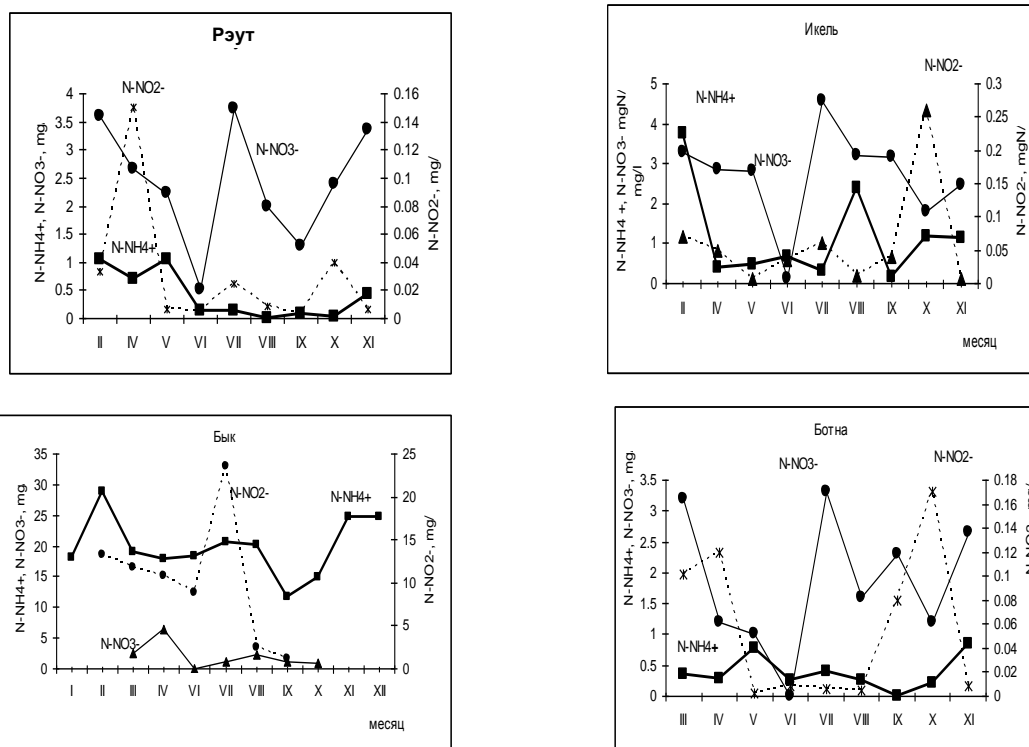


Рис. 2. Внутригодовая динамика минеральных форм азота в устьях притоков Днестра

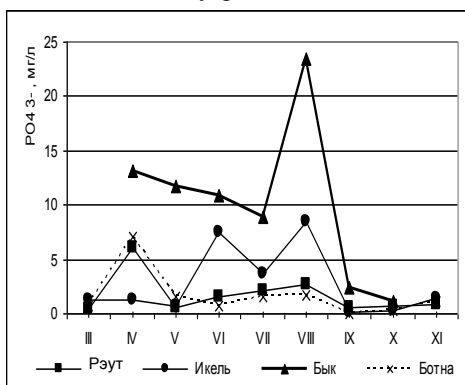


Рис.3. Внутригодовая динамика содержания PO_4^{3-} в устьях притоков.

Количество фосфатов достигало максимума весной в замыкающих створах Рэута и Ботны, летом – в Быке и Икеле (рис.3). Суммарное содержание общего минерального фосфора в водах притоков было меньшим по сравнению с минеральным азотом. Соотношение средних величин за период $N_{\text{общ.}} : P_{\text{общ.}}$ равнялось 3,5 – для Ботны; для вод Рэута и Икеля, соответственно, – 4,4 и 4,6; для Быка – 5,5 (табл.3).

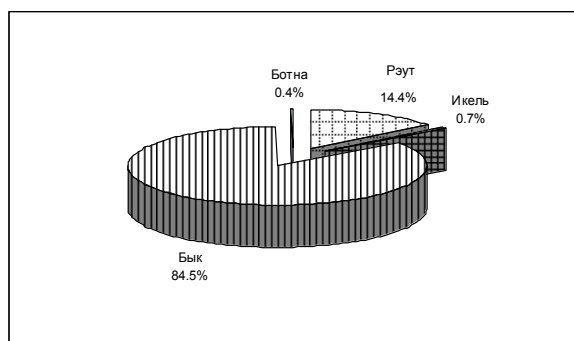
Годовой вынос в Днестр биогенных веществ каждым из притоков характеризовался усредненными объемами компонентов, поступающих в главную реку через замыкающий створ в течение года. Для расчетов использованы параметры – среднегодовой водный сток реки (табл.1) и средняя концентрация компонента в притоке за период наблюдения (табл.3). Для расчета выноса в Днестр биогенов рекой Бык принят средний годовой расход воды в устье реки – 5.83 м³/с, соответствующий среднегодовому стоку 184.0 млн. м³ и учитывающий дополнительный водный сток от сбросов Кишинева [5].

Согласно полученным данным и произведенным расчетам, притоки Рэут, Икель, Бык, Ботна в период 2009-2011 гг. ежегодно вносили в Днестр 3552.8 т аммонийных ионов, 29.3 т – нитритных, 988.5 т – нитратных, 4579.3 т – общего минерального азота, 870.8 т – общего минерального фосфора (табл.4).

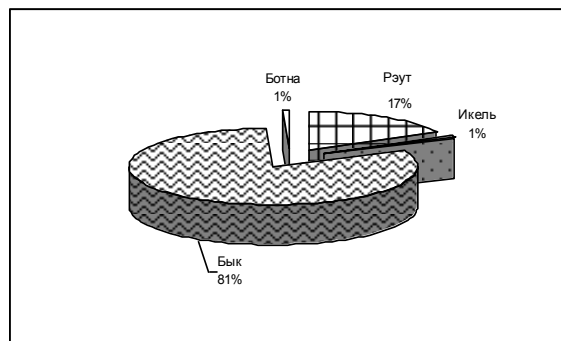
Таблица 4

Усредненный вынос в Днестр биогенных компонентов водами притоков в 2009-2011 гг.

Река	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₂ ⁻	N/NO ₃ ⁻	N _{общ.}	PO ₄ ³⁻	P _{общ.}
	т N / год			т P/год		
Рэут	85.5	5.6	558.2	658.5	419.4	149.8
Икель	7.9	0.44	24.3	32.8	20.8	7.2
Бык	3456	23.0	389.8	3868	1883	708
Ботна	3.4	0.30	16.2	20.0	15.4	5.8
Суммарный вынос	3552.8	29.3	988.5	4579.3	2338.6	870.8



а)



б)

Рис.4. Долевое участие притоков в суммарных объемах выноса в Днестр общего минерального азота (а) и фосфора (б) в 2009-2011 гг.

Максимальная биогенная нагрузка на Днестр отмечена от стока Быка, объемы выноса $N_{\text{общ}}$ и $P_{\text{общ}}$ которого составляли, соответственно, 84,5-81,3% от суммарной нагрузки, создаваемой притоками. Долевое участие р.Рэут составляло 14,4-17,2%, приток биогенных компонентов с водами Икеля и Ботны был несущественными, менее 1% (рис.4)

Анализ полученных данных не выявил взаимосвязи между объемами поступления биогенных веществ от притоков, размерами речных бассейнов и средними расходами воды каждого из них. По размерам водосборных площадей (табл.2) притоки расположились в следующем порядке: Рэут > Бык > Ботна > Икель, по объемам нагрузки в 2009-2011 гг. – Бык > Рэут > Икель > Ботна. Нагрузка на Днестр от притоков в период 2009-2011 гг. не зависела от размеров водосборных бассейнов и водности притоков. От самого многоводного притока – Рэута ($Q_{\text{cp}} = 6,78 \text{ м}^3/\text{с}$; $F = 7,76 \text{ тыс. км}^2$), имеющего водосборную площадь, в 3,6 раза превышающую размер бассейна Быка, биогенная нагрузка на Днестр была в 6 раз меньше, чем от р.Бык ($Q_{\text{cp}} = 5,83 \text{ м}^3/\text{с}$; $F = 2,15 \text{ тыс. км}^2$).

Для сравнения современного состояния вод притоков с ретроспективной выполнены расчеты средних многолетних концентраций биогенных компонентов для периода 1986-1990 гг. по материалам службы Hidrometeo [7]. Этому периоду соответствовали данные о водном стоке (табл.2). Сравнительный анализ данных показал, что уровень загрязненности вод правых притоков Днестра изменился. В последние годы в притоках, за исключением Быка, снизились средние концентрации форм минерального азота и их суммарные количества. В то же время в водных массах Быка произошло увеличение годового содержания аммонийных ионов почти в 3 раза, с 6.68 до 18.8 мг N/л, минерального фосфора – в 14 раз, с 0,27 до 3,85.

Таблица 5

Средние годовые концентрации биогенных элементов и объемы выноса в Днестр биогенных компонентов водами притоков в 1985-1990 гг. [7]*

*В числителе – годовые концентрации биогенов, в знаменателе – средние объемы выноса в Днестр

Река	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₂ ⁻	N/NO ₃ ⁻	N _{общ.}	P _{общ.} мг P/л т/год
	мг N/л т/год				
Рэут	<u>3.14</u> 983	<u>0.32</u> 100.3	<u>2.32</u> 725.3	<u>5.78</u> 1808	<u>0.18</u> 56.4
Икель	<u>1.02</u> 20.5	<u>0.21</u> 4.3	<u>4.39</u> 90	<u>5.62</u> 114.8	<u>0.11</u> 2.2
Бык	<u>6.68</u> 1226.7	<u>0.44</u> 80.7	<u>1.62</u> 296.4	<u>8.74</u> 1603.8	<u>0.27</u> 49.6
Ботна	<u>4.48</u> 151	<u>0.15</u> 5.0	<u>4.50</u> 151.4	<u>9.12</u> 307.4	<u>0.19</u> 6.4
Суммарный вынос	2381	190.3	1263	3834	114.6

Загрязнение Быка аммонийным азотом в последние годы увеличило суммарную нагрузку от притоков на Днестр минеральным азотом (табл.3, 5).

В 1985-1990 годах нагрузка Днестра минеральным азотом и фосфором от притоков была пропорциональна размерам речных бассейнов; она снижалась по мере уменьшения площади водосбора, соответствуя по объему выноса ряду Рэут > Бык > Ботна > Икель.

В настоящее время существенно возросло загрязнение вод всех притоков минеральным фосфором. Наибольшее отмечено в водах Быка, в среднем с 0.27 до 3.85 мгP/л, что в 14 раз превышает значение показателя 1985-1990 годов. Соответственно, повысилась и суммарная нагрузка от притоков минеральным фосфором с 114.6 до 870.8 т/год.

Заключение

Результаты исследований выявили следующие особенности формирования нагрузки на Днестр минеральными биогенными веществами, привносимыми его правыми притоками.

1. Биогенный вынос в Днестр стоками его правых притоков в последние годы увеличился. Суммарное количество общего минерального азота возросло на 19.4%, общее содержание минерального фосфора – в 7,5 раз.

2. Нагрузка Днестра притоками Рэут, Икель, Бык, Ботна минеральным азотом формировалась в 2009-2011 гг. непропорционально размерам их водосборных площадей и составляла по объемам ряд Бык > Рэут > Икель > Ботна. Это может указывать на то, что реки Бык и Ботна практически утратили способность к самоочищению. Суммарный вынос притоками минеральных азотистых веществ в Днестр составил 4579.3 т N/год, в том числе азота аммонийного – 3552.8 т N/год. Основная доля суммарного минерального азота и ионов аммония поступала в Днестр с водами Быка, соответственно 85.5 и 97%. В водных массах Быка в последние годы произошло увеличение годового содержания аммонийных ионов почти в 3 раза по сравнению с периодом 1985-1990 гг.

3. В 1985-1990 гг. притоки вносили в Днестр 3834 т/год минеральных азотистых веществ, в том числе аммонийного азота – 2381.2 т/год. Доля Быка от суммарного количества минерального азота ($N_{\text{общ}}$), поступавшего в Днестр, составляла 42%, азота аммонийного – 51.5% .

4. Годовой вынос притоками Рэут, Икель и Бык в главную реку минерального фосфора увеличился в исследуемый период, соответственно, в 2.6, 3 и 14 раз.

5. Сток Быка является мощным фактором снижения качества вод Днестра. В результате приема рекой сбросных вод Кишинева его естественная и антропогенная составляющие находятся в соотношении 1: 5. Антропогенная составляющая, являющаяся дополнительным водным стоком для реки, обусловлена, в основном, сбросными водами столицы. Эффективность очистки вод от аммонийного азота на очистных сооружениях Кишинева составляет 40-50%, от содержания фосфатов – на 40-60% [8]. В результате большие количества биогенных компонентов сбрасываются в Бык, попадая затем в Днестр. Исследования показали, что загрязненность вод Быка прогрессирует во времени.

Библиография:

1. ГОРЯЧЕВА, Н.В., ДУКА, Г.Г. *Гидрохимия малых рек Республики Молдова*. Chișinău: CEP USM, 2004, 288 с.
2. МЕЛЬНИЧУК, О.Н., ЛАЛЫКИН, Н.В., ФИЛИППЕНКОВ, А.Ф. *Искусственные водоемы Молдовы*. Кишинев: Штиинца, 1991, 209 с.
3. *Advanced Water Quality Laboratory Procedures Manual* // Nach Company. USA. Rev.1, 1997, 1140 p.
4. МАЛЕВАНЧУК, А.Г., ПАНОВ, Н.К., ПЕЛИН, И.С. *Водные ресурсы Республики Молдова*. Кишинэу: Гос. Водохозяйственный концерн «АКВА», 1994, 85 с.
5. ЛАЛЫКИН, Н.В., ГОРЯЧЕВА, Н.В. *Гидрологический и гидрохимический режим реки Бык*. Закл.отчет НИР «Исследовать гидрологический и гидрохимический режим реки Бык и ее влияние на качество р.Днестр.-Для служеб. польз. №1: МКО УкрНИИГиМ. Кишинев, 1988, 86 с.
6. *Ресурсы поверхностных вод СССР*. Т.6. Украина и Молдавия. вып.1. ч.4: *Описание рек и водохранилищ бассейна Днестра*. Л: ГИМИЗ, 219 с.
7. Государственный водный кадастр. *Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши*. Ч.1. *Реки и каналы*; Ч.2. *Озера и водохранилища*. Т. 9. *Молдавская ССР*. Кишинев: ДСП выпуск, 1985-1990 гг.
8. ЖУРМИНСКАЯ, Ольга. *Оценка состояния биоценоза активного ила и создание базы данных экспертной системы*. Автореф. дисс. на соискание уч. степени доктора биологии, Кишинев, 2012, 38 с.

Представленные результаты получены в рамках проекта 11.832.08.08А «Роль притоков в формировании качества воды реки Днестр и исследование качества воды источников / ручейков бассейна реки Днестр в качестве источника водоснабжения и орошения» Государственной программы «Научные исследования и управление качеством воды».

Prezentat la 20.03.2013