

УДК 556.531.46.047

**CNP-СТЕХИОМЕТРИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК – ДНЕСТРА, ПРУТА
И СИРЕТА – НА ВЫХОДЕ ИЗ УКРАИНЫ****О. Н. ЛАКУСТА**, аспирант кафедры экологии и биомониторинга*,**С. С. РУДЕНКО**, доктор биологических наук, профессор*Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича**E-mail: oksana-lakusta@rambler.ru, rudenko.prof.eco@gmail.com*

***Анотация.** В работе исследовано CNP-стехиометрию трансграничных рек – Днестра, Прута и Сирета – на выходе из Украины. Мониторинг охватывал два направления: сопоставление содержания растворенных неорганических соединений PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , CO_2 , HCO_3^- в воде исследованных трансграничных рек с ПДК их хозяйственно-бытового и рыбохозяйственного водопользования и оценку стехиометрической доступности CNP-элементов перечисленных соединений. Исследования проводилось в период летней межени 2014 года на станциях мониторинга главных речных бассейнов Черновицкой области. В результате исследования показано, что каких-либо превышений как хозяйственно-бытовых, так и рыбохозяйственных ПДК по содержанию большинства растворенных неорганических соединений углерода, азота и фосфора в воде трансграничных рек Днестровского, Сиретского и Прутского бассейнов на выходе из Украины в пределах пограничной Черновицкой области не обнаружено. Исключение составляет превышение рыбохозяйственной ПДК по нитритам на фоне отсутствия такового по ПДК хозяйственно-бытового водопользования. Доведено, что содержание фосфатов в речной воде Днестровского бассейна превышает их содержание в речной воде Прутского, а содержание NH_4^+ и CO_2 в воде рек Сиретского бассейна превышает их содержание в воде рек Днестровского. Особенностью работы есть то, что впервые установлены медианные стехиометрические соотношения молярных концентраций растворенных неорганических CNP-элементов: для рек Днестровского бассейна – $807C : 49N : 1P$, для рек Прутского бассейна – $932C : 58N : 1P$, для рек Сиретского бассейна – $1239C : 69N : 1P$. Кроме того, исходя из $DIN : DIP$ соотношения, показано, что в реках Сиретского бассейна имеет место выраженный P-дефицитный рост фитопланктона, в реках Прутского – он пребывает на нижней границе P-дефицитного влияния, в то время как в реках*

* Науковий керівник – доктор біологічних наук, професор С. С. Руденко

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

Днестровського басейна лімітуючого впливу азоту або фосфору на фітопланктон не прогнозується.

Ключевые слова: трансграничные реки, Днестр, Прут, Сирет, растворимый неорганический азот, углерод, фосфор, соотношение Редфилда, CNP-стехиометрия

Прут – левый приток Дуная, вторая по величине река Восточных Карпат, протекает на территории Украины (в пределах Ивано-Франковской и Черновицкой областей), Молдовы и Румынии. Сначала Прут течет с юга на север, прорезая хребты глубокой долиной. Выходя из предгорий, Прут поворачивает на юго-восток, затем на юг, образуя естественную границу между Молдовой и Румынией. Река пересекает границу с Румынией неподалеку от села Мамалыга Черновицкой области.

Сирет – левый приток Дуная, протекающий через Украину и Румынию. В Украине протекает через Вижницкий, Сторожинецкий и Глибоцкий районы Черновицкой области. Течет сначала на север, затем постепенно поворачивает на северо-восток, восток и юго-восток. Пересекает украино-румынскую границу вблизи села Новый Волчинец Черновицкой области.

Днестр – река на юго-западе Украины и в Молдове (на границе двух стран). Большая его часть находится в Украине. Здесь он занимает значительную часть территорий семи областей Украины (Львовской, Ивано-Франковской, Черновицкой, Тернопольской, Хмельницкой, Винницкой и Одесской). Однако Черновицкая область – именно та область Украины, где можно оценить влияние сугубо украинской стороны на состояние этой реки. Ниже села Волошковое Черновицкой области Днестр становится общим и служит границей между Украиной и Молдовой.

Таким образом, Черновицкая область может быть полигоном для мониторинга влияния украинской стороны на качество воды трансграничных рек – Днестра, Прута и Сирета.

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

Целью исследований было исследовать CNP-стехиометрию трансграничных рек – Днестра, Прута и Сирета – в пределах Черновицкой области.

Мониторинг охватывал два направления: сопоставление содержания растворенных неорганических соединений PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , CO_2 , HCO_3^- в воде исследованных трансграничных рек с ПДК их хозяйственно-бытового и рыбохозяйственного водопользования и оценку стехиометрической доступности CNP-элементов перечисленных соединений.

Еще в 1934 году А. Редфилд [7] установил среднестатистическое стехиометрическое соотношение 1017C : 15N : 1P для морской воды и доказал лимитирующую роль в нем азота для развития планктона [8]. Последние годы ознаменовались возрождением идей стехиометрического анализа А. Редфильда. Так, Р.М Glibert [4] показал, что экологическая стехиометрия оказывает значительное влияние на стойкость водных экосистем. Были получены данные о нарушении стабильности пасторальных экосистем при стехиометрических сдвигах биогенных элементов в поверхностном слое почвы [10]. А Yuanhe Yang из соав. [9] продемонстрировал решающее значение для прогнозирования динамики экосистем в условиях изменения окружающей среды имеет стехиометрическая доступность CNP-элементов. Все это и побудило нас дополнить CNP-мониторинг речных экосистем стехиометрическим анализом соответствующих элементов.

Материалы и методы исследований. Исследования проводилось в период летней межени 2014 года на станциях мониторинга главных речных бассейнов Черновицкой области – Днестра, Прута и Сирета (рис. 1). Пробы воды отбирали батометром на 16 сайтах (вблизи 8 лесных и 8 луговых пойм) каждой из 15 станций мониторинга. В лабораторных условиях определяли содержание нитратов с помощью нитратомера Н-401, карбонатов и гидрокарбонатов – титрометрически, фосфатов, аммиака и нитритов – фотоколориметрически [3].

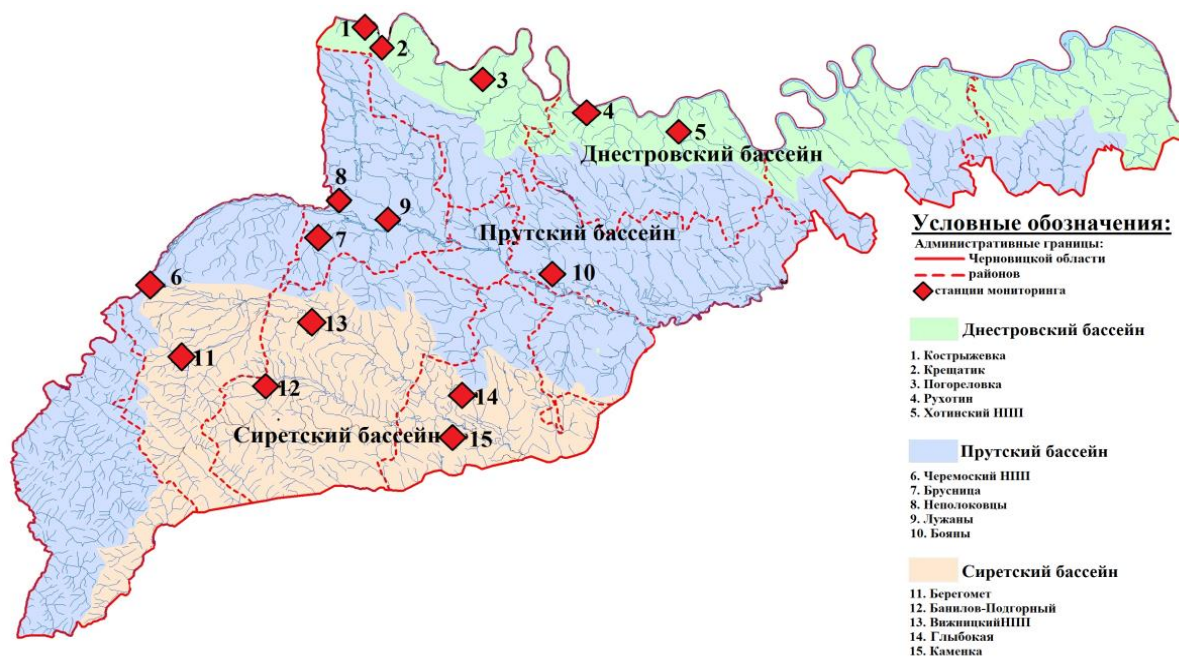


Рис. 1. Населенные пункты Черновицкой области, в которых проводился CNP-мониторинг трансграничных рек

Растворимый неорганический фосфор (DIP) представлен в работе фосфором PO_4^{3-} , совокупный растворимый неорганический азот (DIN) – азотом NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , а растворимый неорганический углерод (DIC) – углеродом CO_2 , HCO_3^- .

Статистический анализ осуществляли, используя компьютерную программу Statistica 6.0 [2].

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты оценки содержания неорганических соединений азота, углерода и фосфора в речной воде на 15 станциях мониторинга Черновицкой области исследуемых рек на выходе из Украины в целом можно охарактеризовать как достаточно чистые. Каких-либо превышений как хозяйственно-бытовой, так и рыбохозяйственной ПДК по содержанию большинства анализируемых соединений в речной воде пограничной Черновицкой области не обнаружено. Однако на всех станциях мониторинга зафиксировано превышение рыбохозяйственной ПДК по

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

нитритам на фоне отсутствия превышения ПДК хозяйственно-бытового водопользования по этому соединению.

Подобно Редфилду, концентрацию исследованных соединений мы пересчитали на интересующие нас элементы и выразили в ммоль/м³ (табл. 1), что соответствует устаревшей размерности мг атом/м³, которую использовал данный автор.

1. Перерасчет концентраций исследованных соединений на молярную концентрацию элементов, ммоль/м³

Станции мониторинга	P _{PO4} ³⁻		N _{NH4} ⁺		N _{NO2} ⁻		N _{NO3} ⁻		C _{CO2}		C _{HC03} ⁻	
	вблизи лесной поймы (n=8)	вблизи луговой поймы (n=8)	вблизи лесной поймы (n=8)	вблизи луговой поймы (n=8)	вблизи лесной поймы (n=8)	вблизи луговой поймы (n=8)	вблизи лесной поймы (n=4)	вблизи луговой поймы (n=4)	вблизи лесной поймы (n=8)	вблизи луговой поймы (n=8)	вблизи лесной поймы (n=6)	вблизи луговой поймы (n=6)
Днестровский бассейн												
Кострижевка	4,00	3,53	2,11	2,18	14,76	13,98	194,74	186,68	174,95	149,96	4753,05	4475,27
Погореловка	19,83	24,56	2,16	2,35	9,03	4,91	195,14	185,47	99,97	94,97	4074,04	4037,00
Рухотин	3,84	4,32	2,17	2,37	10,93	10,93	182,65	182,24	72,48	89,97	2870,35	2283,93
Крещатик	3,20	3,01	2,20	2,24	12,34	11,64	162,89	204,01	76,23	79,98	4104,90	4413,54
Хотинский НПП	10,17	5,32	1,80	1,88	10,26	7,51	196,76	213,69	104,97	109,97	3814,78	3827,13
Прутский бассейн												
Бояны	3,61	3,38	2,33	2,25	10,74	10,07	191,52	197,97	232,43	246,18	4043,18	3580,22
Брусница	10,12	10,35	2,24	2,42	14,31	14,09	165,31	166,52	134,96	154,96	3857,99	3734,54
Лужаны	2,55	2,63	2,35	2,30	2,45	3,09	198,77	154,83	79,98	124,96	4197,50	4320,95
Неполоковцы	3,11	2,88	1,82	1,94	17,21	15,91	173,78	205,22	69,98	94,97	3919,72	4012,31
Черемошский НПП	2,97	2,68	2,01	1,97	8,51	6,77	166,11	166,11	149,96	134,96	1703,69	2203,69
Сиретский бассейн												
Банилов-Подгорный	2,82	2,99	2,24	2,37	10,56	9,70	181,44	172,57	141,21	124,96	3209,85	3808,61
Берегомет	3,60	4,03	2,18	2,18	10,63	10,89	286,27	266,51	104,97	117,47	2962,94	3981,45
Глыбокая	11,64	14,82	2,27	2,50	62,45	73,98	204,01	204,01	219,94	219,94	3907,37	3641,94
Каменка	2,45	2,83	4,04	3,43	11,60	11,93	176,60	173,78	138,71	163,70	3549,35	3734,54
Вижницкий НПП	5,19	4,45	2,68	2,33	3,12	20,07	194,74	187,08	123,71	183,70	4401,20	4209,84

Критерий Манна-Уитни засвидетельствовал наличие достоверных различий в содержании фосфора фосфатов между реками Днестровского и Прутского бассейнов (табл. 2). Описательная статистика (табл. 3) показывает, что содержание P_{PO4}³⁻ в речной воде Днестровского бассейна превышает их

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

содержание в речной воде Прутского: по среднему значению – в 1,85 раза, по медианному – в 1,37 раза.

Кроме того, нами зарегистрированы достоверные различия в содержании $N_{NH_4^+}$ и C_{CO_2} в воде рек Днестровского и Сиретского бассейнов (табл. 2). При этом в обоих случаях содержание указанных соединений в воде рек Сиретского бассейна превышало их содержание в воде рек Днестровского: по среднему значению – в 1,21 раз (NH_4^+), 1,46 раза (CO_2), а по медианном – в 1,1 раза (NH_4^+), 1,44 раза (CO_2) (табл. 3).

2. Оценка достоверности различий в распределении концентраций CNP-соединений в воде главных трансграничных рек на выходе из Украины с помощью критерия Манна-Уитни ($p < 0,05$), ($N = 10$)

	Бассейн реки	Rank Sum	Rank Sum	U	Z	p-level	Z	p-level	2*1sided
$P_{PO_4^{3-}}$	Днестр/ Прут	134,00	76,00	21,00	2,19	0,03	2,19	0,03	0,03
	Днестр/ Сирет	119,00	91,00	36,00	1,06	0,29	1,06	0,29	0,31
	Прут/ Сирет	93,00	117,00	38,00	-0,91	0,36	-0,91	0,36	0,39
$N_{NH_4^+}$	Днестр/ Прут	98,00	112,00	43,00	-0,53	0,60	-0,53	0,60	0,63
	Днестр/ Сирет	71,50	138,50	16,50	-2,53	0,01	-2,54	0,01	0,01
	Прут/ Сирет	80,50	129,50	25,50	-1,85	0,06	-1,85	0,06	0,06
$N_{NO_2^-}$	Днестр/ Прут	107,00	103,00	48,00	0,15	0,88	0,15	0,88	0,91
	Днестр/ Сирет	97,00	113,00	42,00	-0,60	0,55	-0,60	0,55	0,58
	Прут/ Сирет	91,00	119,00	36,00	-1,06	0,29	-1,06	0,29	0,31
$N_{NO_3^-}$	Днестр/ Прут	120,50	89,50	34,50	1,17	0,24	1,18	0,24	0,25
	Днестр/ Сирет	102,50	107,50	47,50	-0,19	0,85	-0,19	0,85	0,85
	Прут/ Сирет	80,50	129,50	25,50	-1,85	0,06	-1,86	0,06	0,06
C_{CO_2}	Днестр/ Прут	86,50	123,50	31,50	-1,40	0,16	-1,40	0,16	0,17
	Днестр/ Сирет	69,50	140,50	14,50	-2,68	0,01	-2,69	0,01	0,01
	Прут/ Сирет	98,50	111,50	43,50	-0,49	0,62	-0,49	0,62	0,63
$C_{HCO_3^-}$	Днестр/ Прут	120,00	90,00	35,00	1,13	0,26	1,13	0,26	0,28
	Днестр/ Сирет	121,00	89,00	34,00	1,21	0,23	1,21	0,23	0,25
	Прут/ Сирет	108,50	101,50	46,50	0,26	0,79	0,26	0,79	0,80

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные различия между реками разных бассейнов.

3. Описательная статистика содержания CNP-соединений в воде главных трансграничных рек на выходе из Украины, ммоль/м³ (N = 10)

Элементы	Бассейн реки	Mean	Median	Mode	Min.	Max.	Std. Err.	Skewness	Kurtosis
PPO ₄ ³⁻	Днестр	8,18	4,16	Mult.	3,01	24,56	2,45	1,61	1,30
	Прут	4,43	3,04	Mult.	2,55	10,35	0,97	1,73	1,31
	Сирет	5,48	3,82	Mult.	2,45	14,82	1,34	1,75	1,96
N _{NH₄} ⁺	Днестр	2,15	2,18	Mult.	1,80	2,37	0,06	-0,91	0,40
	Прут	2,16	2,25	Mult.	1,82	2,42	0,07	-0,47	-1,42
	Сирет	2,62	2,35	2,18	2,18	4,04	0,20	1,76	2,32
N _{NO₂} ⁻	Днестр	10,63	10,93	10,93	4,91	14,76	0,93	-0,59	0,36
	Прут	10,32	10,41	Mult.	2,45	17,21	1,63	-0,30	-1,12
	Сирет	22,49	11,25	Mult.	3,12	73,98	7,77	1,71	1,53
N _{NO₃} ⁻	Днестр	190,43	190,71	Mult.	162,89	213,69	4,39	-0,34	1,05
	Прут	178,61	170,15	166,11	154,83	205,22	5,66	0,36	-1,66
	Сирет	204,70	190,91	204,01	172,57	286,27	12,56	1,50	1,08
C _{CO₂}	Днестр	105,35	97,47	Mult.	72,48	174,95	10,44	1,33	1,15
	Прут	142,33	134,96	134,96	69,98	246,18	18,53	0,77	-0,08
	Сирет	153,83	139,96	219,94	104,97	219,94	13,15	0,74	-0,83
C _{HCO₃} ⁻	Днестр	3865,40	4055,52	Mult.	2283,93	4753,05	237,72	-1,25	1,19
	Прут	3557,40	3888,86	Mult.	1703,69	4320,95	278,05	-1,60	1,43
	Сирет	3740,71	3771,58	Mult.	2962,94	4401,20	136,62	-0,38	-0,02

В таблице 4 подана описательная статистика молярных концентраций DIP, DIN и DIC в воде трансграничных рек Черновицкой области.

4. Описательная статистика молярных концентраций DIC, DIN и DIP в воде трансграничных рек Черновицкой области (p < 0,05), (N = 10)

	Бассейн реки	Mean	Median	Mode	Min.	Max.	Stand. Err.	Skewness	Kurtosis
DIC	Днестр	3970,74	4152,99	Mult.	2373,90	4928,00	243,58	-1,17	1,07
	Прут	3699,71	3991,33	Mult.	1853,65	4445,91	276,30	-1,64	1,51
	Сирет	3894,54	3915,91	Mult.	3067,91	4524,91	140,09	-0,54	0,08
DIN	Днестр	203,20	204,59	Mult.	177,43	223,08	4,23	-0,42	0,21
	Прут	191,09	187,92	Mult.	160,22	223,07	6,06	0,12	-0,67
	Сирет	229,82	205,01	Mult.	184,64	299,08	14,537	0,51	-1,92
DIP	Днестр	8,18	4,16	Mult.	3,01	24,56	2,45	1,61	1,30
	Прут	4,43	3,04	Mult.	2,55	10,35	0,97	1,73	1,31
	Сирет	5,48	3,82	Mult.	2,45	14,82	1,34	1,75	1,96

Отметим, что распределение содержания исследованных элементов не соответствовало нормальному, и это нас побудило обратиться к использованию непараметрической статистики при оценке достоверности различий между реками. Количество усредненных проб воды на всех станциях мониторинга не превышало

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

50, поэтому был применен наиболее эффективный для сравнения малых выборок непараметрический статистический U-критерий Манна-Уитни.

Как видно из таблицы 5, достоверных отличий по молярных концентрациях DIC и DIN между реками разных бассейнов по критерию Манна-Уитни не обнаружено. В то время как по DIP достоверное различие было зафиксировано между реками Днестровского и Прутского бассейнов.

5. Оценка достоверности различий в распределении DIC, DIN и DIP в воде трансграничных рек Черновицкой области с помощью критерия Манна-Уитни ($p < 0,05$), (N = 10)

	Бассейн реки	Rank Sum	Rank Sum	U	Z	p-level	Z	p-level	2*1sided
DIC	Днестр/ Прут	118,00	92,00	37,00	0,98	0,33	0,98	0,33	0,35
	Днестр / Сирет	119,00	91,00	36,00	1,06	0,29	1,06	0,29	0,31
	Прут/ Сирет	106,00	104,00	49,00	0,08	0,94	0,08	0,94	0,97
DIN	Днестр/ Прут	125,00	85,00	30,00	1,51	0,13	1,51	0,13	0,14
	Днестр/ Сирет	99,00	111,00	44,00	-0,45	0,65	-0,45	0,65	0,68
	Прут/ Сирет	80,00	130,00	25,00	-1,89	0,06	-1,89	0,06	0,06
DIP	Днестр/ Прут	134,00	76,00	21,00	2,19	0,03	2,19	0,03	0,03
	Днестр/ Сирет	119,00	91,00	36,00	1,06	0,29	1,06	0,29	0,31
	Прут/ Сирет	93,00	117,00	38,00	-0,91	0,36	-0,91	0,36	0,39

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные различия между реками разных бассейнов.

После суммирования содержания каждого из элементов в составе разных форм соединений, были установлены их отношения к фосфору (DIC/DIP, DIN/DIP), то есть стехиометрическая доступность по элементу, представленному в наименьшем количестве (табл. 6), а в таблице 7 – соответствующая описательная статистика. Таким образом, суммарные молярные концентрации растворенного неорганического углерода и азота в воде исследованных рек были нормированы по растворенному неорганическому фосфору.

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

6. Стехиометрическая доступность CNP элементов в воде трансграничных рек Черновицкой области (N = 10)

Станции мониторинга	DIC / DIP		DIN / DIP	
	вблизи лесных поймы	вблизи луговой поймы	вблизи лесной поймы	вблизи луговой поймы
Днестровский бассейн				
Кострижевка	1232,18	1316,62	52,97	57,98
Погореловка	1312,34	1493,63	56,07	72,32
Рухотин	770,10	559,89	51,07	46,21
Крещатик	387,26	844,63	20,45	44,34
Хотинский НПП	212,30	169,96	9,68	6,99
Прутский бассейн				
Бояны	1682,55	1686,83	79,96	61,56
Брусница	422,57	375,80	18,43	17,69
Лужаны	1230,56	1147,46	58,11	62,63
Неполоковцы	867,69	991,48	39,64	47,77
Черемошский НПП	623,79	873,19	57,35	62,60
Сиретский бассейн				
Банилов-Подгорный	849,61	1085,23	83,28	76,98
Берегомет	1535,31	1390,80	78,30	67,75
Глыбокая	340,29	241,47	23,09	18,93
Каменка	1194,40	1315,92	69,46	61,78
Вижицкий НПП	1283,76	1426,47	62,17	77,32

7. Описательная статистика стехиометрической доступности CNP элементов в воде трансграничных рек Черновицкой области (N = 10)

Бассейн реки	Mean	Median	Mode	Min	Max	Std. Err.	Skewness	Kurtosis
DIC / DIP								
Днестр	829,89	807,37	Mult.	169,96	1493,63	154,98	-0,05	-1,66
Прут	990,19	932,34	Mult.	375,80	1686,83	145,67	0,31	-0,78
Сирет	1066,33	1239,08	Mult.	241,47	1535,31	142,82	-1,12	-0,01
DIN / DIP								
Днестр	41,81	48,64	Mult.	6,99	72,32	6,94	-0,62	-0,81
Прут	50,57	57,73	Mult.	17,69	79,96	6,34	-0,67	-0,21
Сирет	61,91	68,61	Mult.	18,93	83,28	7,18	-1,38	0,66

В результате исследований нами были получены такие медианные стехиометрические соотношения молярных концентраций растворенных неорганических CNP-элементов: для рек Днестровского бассейна – 807C : 49N : 1P, для рек Прутского бассейна – 932C : 58N : 1P, для рек Сиретского бассейна – 1239C : 69N : 1P.

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

Достоверного различия в распределении показателя стехиометрической доступности растворенного неорганического углерода (DIC/DIP) между реками разных бассейнов Черновицкой области не обнаружено. Суммы рангов сравниваемых выборок оказались настолько близкими, что критерий Манна-Уитни не зафиксировал разницы между ними (табл. 8).

Иная ситуация сложилась относительно стехиометрической доступности растворенного неорганического азота (DIN / DIP). Здесь критерий Манна-Уитни подтвердил наличие достоверного преобладания (на 41 %) значения данного параметра в воде рек Сиретского бассейна по сравнению с водой рек Днестровского. При этом достоверная разница установлена как по критерию значимости Z, который позволяет проверять двустороннюю гипотезу, так и по более точному одностороннему критерию 2*1sided [1]. Выявление достоверной разницы по последнему критерию является следствием одновекторной (или однознаковой) направленности различий в распределении показателя стехиометрической доступности азота между указанными реками: в преобладающем большинстве случаев медианные значения показателя в воде рек Сиретского бассейна оказываются большими, чем медианное значение в воде рек Днестровского.

Достоверной разницы между стехиометрической доступностью азота в речных водах Днестровского и Прутского, а также Прутского и Сиретского бассейнов не установлено.

8. Оценка достоверности различий в распределении стехиометрической доступности CNP элементов в воде трансграничных рек Черновицкой области (N = 10)

	Rank Sum	Rank Sum	U	Z	p-level	Z	p-level	2*1sided
DIC / DIP								
Днестр/Прут	96,00	114,00	41,00	-0,68	0,4963	-0,68	0,4963	0,5288
Днестр/Сирет	90,00	120,00	35,00	-1,13	0,2568	-1,13	0,2568	0,2799
Прут/Сирет	99,00	111,00	44,00	-0,45	0,6501	-0,45	0,6501	0,6842
DIN / DIP								
Днестр/Прут	89,00	121,00	34,00	-1,21	0,2265	-1,21	0,2265	0,2475
Днестр/Сирет	74,00	136,00	19,00	-2,34	0,0191	-2,34	0,0191	0,0185
Прут/Сирет	82,00	128,00	27,00	-1,74	0,0821	-1,74	0,0821	0,0892

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные различия между реками разных бассейнов.

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

DIN : DIP отношение является показателем, который показывает, когда питательные вещества начинают лимитировать рост как в пресных водоемах, так и в океанах. Когда S. J. Guildford and R.E. Hecky. [5] сравнили все исследованные ими сайты, N-дефицитный рост фитопланктона был очевиден при молярном отношении $DIN : DIP < 20$, в то время как P-дефицитный рост последовательно развивался при $DIN : DIP > 50$. Авторы пришли к выводу, что способность N или P ограничивать рост фитопланктона зависит не только от концентрации DIN и DIP, а и от $DIN : DIP$ соотношения, не зависимо от того, является ли изучаемая система морской или пресноводной.

Исходя из выше описанных закономерностей в реках Сиретского бассейна имеет место P-дефицитный рост фитопланктона, поскольку $DIN : DIP$ значительно > 50 (табл. 10). В реках Прутского бассейна $DIN : DIP$ пребывает на нижней границе P-дефицитного роста фитопланктона. В то время как в реках Днестровского бассейна лимитирующего влияния азота либо фосфора на фитопланктон не прогнозируется, поскольку $DIN : DIP$ находится в диапазоне от > 20 до < 50 .

Из полученных данных становится понятным, почему в реках Сиретского бассейна зафиксировано больше аммиачного азота по сравнению с реками Днестровского. Очевидно, что выраженный в данном случае дефицит фосфора детерминирует стехиометрическую не востребованность азота, в том числе и в форме NH_4^+ , которая является наиболее доступной.

Выводы

1. Каких-либо превышений как хозяйственно-бытовых, так и рыбохозяйственных ПДК по содержанию большинства растворенных неорганических соединений углерода, азота и фосфора в воде трансграничных рек Днестровского, Сиретского и Прутского бассейнов на выходе из Украины в пределах пограничной Черновицкой области не обнаружено. Исключение

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

составляет превышение рыбохозяйственной ПДК по нитритам на фоне отсутствия такового по ПДК хозяйственно-бытового водопользования.

2. Содержание фосфатов в речной воде Днестровского бассейна превышает их содержание в речной воде Прутского, а содержание NH_4^+ и CO_2 в воде рек Сиретского бассейна превышает их содержание в воде рек Днестровского.

3. Впервые установлены медианные стехиометрические соотношения молярных концентраций растворенных неорганических CNP-элементов: для рек Днестровского бассейна – 807C : 49N : 1P, для рек Прутского бассейна – 93-2C : 58N : 1P, для рек Сиретского бассейна – 1239C : 69N : 1P.

4. Исходя из DIN : DIP соотношения, в реках Сиретского бассейна имеет место выраженный P-дефицитный рост фитопланктона, в реках Прутского – он пребывает на нижней границе P-дефицитного влияния, в то время как в реках Днестровского бассейна лимитирующего воздействия азота либо фосфора на фитопланктон не прогнозируется.

Перспективы дальнейших исследований видим в сравнительном анализе полученных нами медианных стехиометрических соотношений молярных концентраций растворенных неорганических CNP-элементов в реках с подобного рода зарубежными исследованиями, поскольку на отечественных просторах работы в направлении экологической стехиометрии отсутствуют.

Список литературы

1. Барвенков С. А. Лекции по высшей математике / С. А. Барвенков. – Мн.: Изд-во «Аверсэв», 2007. – 172 с.

2. Мастицкий С. Э. Методическое пособие по использованию программы STATISTICA при обработке данных биологических исследований / С. Э. Мастицкий. – Мн.: РУП «Институт рыбного хозяйства», 2009. – 76 с.

3. CNP-мониторинг речных экосистем (на примере Черновицкой области): учебное пособие / Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича / [С.С. Костишин, Л.Ю. Головченко, О.М. Дзензерська, О.Я. Буждиган]; Под ред. С.С. Руденко. – Черновцы: Изд-во «Мисто», 2015. – 152 с.

4. Glibert P. M. Ecological stoichiometry and its implications for aquatic ecosystem sustainability / P. M. Glibert // *Current Opinion Envir. Sustainability*. – 2012. – V. 4. – P. 272-277.

5. Guildford S. J. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? / S. J. Guildford, R. E. Hecky // *Limnology and oceanography*. – 2000. – Vol. 45. – Number 6. – P. 1213-1223.

6. Phytoplankton stoichiometry / C. A. Klausmeier, E. Litchman, T. Daufresne, S. A. Levin // *Ecol. Res.* – 2008. – Vol. 23. – P. 479-485.

7. Redfield A. C. On The Proportions Of Organic Derivatives In Sea Water And Their Relation To The Composition Of Plankton / A. C. Redfield // *Liverpool University Press*. – 1934. – P. 176-192.

8. Redfield A. C. The influence of organism on the composition of sea-water / A. C. Redfield, B. H. Ketchum, F. A. Richards // *Interscience*. – 1963. – V. 2. – P. 26-77.

9. Stoichiometric shifts in surface soils over broad geographical scales: evidence from China's grasslands / Yuanhe Yang, Jingyun Fang, Chengjun Ji, et al. // *Global Ecology and Biogeography*. – 2014. – Vol. 23. Is. 8. – P. 947-955.

10. The application of ecological stoichiometry to plant-microbial-soil organic matter transformations / Sophie Zechmeister-Boltenstern, Katharina Maria Keiblinger, Maria Mooshammer et al. // *Ecological monographs a publication of the ecological society of America*. – 2015. – Vol. 85, Is. 2. – P. 133-155.

Reference

1. Barvenov, S. A. (2007). *Lektsii po vyisshey matematike [Lectures on Higher Mathematics]*. Minsk, Aversev, 172.

2. Mastitskiy, S.E. (2009). *Metodicheskoe posobie po ispolzovaniyu programmy STATISTICA pri obrabotke dannyih biologicheskikh issledovaniy [Methodical manual on the use of the STATISTICA program in the processing of biological research data]*. Minsk, «Institut rybnogo hozyaystva», 76.

3. Kostyshyn, S. S., Golovchenko, L. Yu., Dzenzerska, O. M., Buzhdygan, O. Ya. (2015). *CNP-monitoring rechnyih ekosistem (na primere Chernovitskoy oblasti): uchebnoe posobie [CNP-monitoring of river ecosystems (by the example of the Chernivtsi region)]*. Chernovtsy, Misto, 152.

4. Glibert, P.M. (2012). Ecological stoichiometry and its implications for aquatic ecosystem sustainability. *Current Opinion Envir. Sustainability*, 4 (3), 272-277. doi.org/10.1016/j.cosust.2012.05.009

5. Guildford, S. J., Hecky, R. E. (2000). Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnology and oceanography*, 45 (6), 1213-1223. DOI: 10.4319/lo.2000.45.6.1213

6. Klausmeier, C. A., Litchman, E., Daufresne, T., Levin, S. A. (2008). Phytoplankton stoichiometry. *Ecol. Res.*, 23, 479-485. DOI: 10.1007/s11284-008-0470-8

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

7. Redfield, A. C. (1934) On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. James Johnstone Memorial Volume, University Press of Liverpool, 176-192.

8. Redfield, A. C., Ketchum B. H., Richards, F. A. (1963). The influence of organism on the composition of sea-water. *Interscience*, 2, 26-77.

9. Yang, Y., Fang, J., Ji, C., Datta, A., P.Li, W. Ma, A. Mohammat, H. Shen, H. Hu, B. O. Knapp. P. Smith. (2014). Stoichiometric shifts in surface soils over broad geographical scales: evidence from China's grasslands. *Global Ecology and Biogeography*, 23 (8), 947-955. DOI: 10.1111/geb.12175.

10. Zechmeister-Boltenstern, S., Keiblinger, K. M., Mooshammer, M., Peñuelas, J., Richter, A., Sardans, J., Wanek, W. (2015). The application of ecological stoichiometry to plant-microbial-soil organic matter transformations. *Ecological monographs a publication of the ecological society of America*, 85 (2), 133-155. DOI: 10.1890/14-0777.1

CNP-СТЕХІОМЕТРІЯ ТРАНСГРАНИЧНИХ РІЧОК – ДНІСТРА, ПРУТА І СІРЕТА – НА ВИХОДІ З УКРАЇНИ

О. Н. Лакуста, С. С. Руденко

Анотація. Вперше встановлені медіанні стехіометричні співвідношення молярних концентрацій розчинених неорганічних CNP-елементів: для річок Дністровського басейну – 807C: 49N: 1P, для річок Прутського басейну – 932C: 58N: 1P, для річок Сіретського басейну – 1239C: 69N: 1P. Доведено, що будь-яких перевищень як господарсько-побутових, так і рибогосподарських ГДК за вмістом більшості розчинених неорганічних сполук Карбону, Нітрогену і Фосфору у воді транскордонних річок Дністровського, Сіретського і Прутського басейнів на виході з України в межах прикордонної Чернівецької області не виявлено. Виняток становлять перевищення рибогосподарських ГДК по нітритах на фоні відсутності такого ж для ГДК господарсько-побутового водокористування. У річках Сіретського басейну встановлено P-дефіцитний ріст фітопланктону.

Ключові слова: транскордонні річки, Дністер, Прут, Сірет, розчинний неорганічний Нітроген, Карбон, Фосфор, співвідношення Редфілда, CNP-стехіометрія

CNP-STOICHIOMETRY OF TRANSBOUNDARY RIVERS (DNIESTER, PRUT AND SIRET) AT THE EXIT FROM UKRAINE

O. Lakusta, S. Rudenko

Abstract. For the first time, median stoichiometric ratios of molar concentrations of dissolved inorganic CNP elements were established. For the rivers of the Dniester Basin it is 807C: 49N: 1P, for the rivers of the Prut Basin it is 932C:

© Лакуста О. Н., Руденко С. С.

58N: 1P, for the rivers of the Siret Basin it is 1239C: 69N: 1P. Additionally, the excess of maximum permissible concentrations (MPC) in water used for drinking and household purposes, or for fishing, were not found in the content of most dissolved inorganic compounds of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in the transboundary rivers of the Dniester, Siret and Prut basins at the exit from Ukraine within the boundary of the Chernivtsi region. The exception is the excess of the MPC of nitrites in water used for fishing against the background of the lack of such MPC in water used for drinking and household purposes. The P-deficient growth of phytoplankton was established in the rivers of the Siret basin.

Keywords: *transboundary rivers, Dniester, Prut, Siret, dissolved inorganic Nitrogen, Carbon, Phosphorus, Redfield ratio, CNP-stoichiometry*