

УДК 556.114

Хільчевський В.К., Курило С.М.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ХІМІЧНИЙ СКЛАД АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЙОГО АНТРОПОГЕННА СКЛАДОВА

Ключові слова: атмосферні опади, хімічний склад, антропогенна складова.

Вступ. Атмосферні опади, як тверді, так і рідкі є чутливим індикатором забруднення атмосфери. Дані про вміст забруднювальних речовин в атмосферних опадах є основним матеріалом для оцінки регіонального забруднення атмосфери промислових центрів, міст і сільської місцевості. Вміст окремих компонентів в атмосферних опадах, перш за все, залежить від кількості опадів: чим більше опадів, тим менше їх мінералізація і забрудненість. При цьому, впливає і напрям вітру, і інтенсивність опадів. Великий вплив на хімічний склад атмосферних опадів має антропогенний чинник. Штучне (антропогенне) забруднення атмосфери відбувається під впливом діяльності людини внаслідок зміни її складу і властивостей. Відомості про хімічний склад атмосферних опадів, а отже, і кількість мінеральних речовин, яка надходить з атмосферними опадами, є дуже важливими і необхідними при вивченні міграції та кругообігу речовин в природі, розрахунку сольового балансу окремих водних об'єктів та територій, визначенні впливу хімічного складу атмосферних опадів на формування хімічного складу поверхневих вод та іонного стоку річок, в тому числі і в умовах змін клімату [14].

Постановка завдання та вихідні матеріали. Вивченню хімічного складу атмосферних опадів на території України була присвячена кандидатська робота М.І. Ромася (1981 р.), у якій він розглянув гідрохімічний режим атмосферних опадів за період 1963-1975 рр. по 10 метеостанціях, на яких за загальносоюзною програмою проводилися спостереження за хімічним складом атмосферних опадів [5]. У 1986 р. було опубліковано роботу представників гідрохімічної школи Київського національного університету імені Тараса Шевченка по забрудненню снігового покриву м. Києва та прилеглих районів, виконану за матеріалами власних експедиційних досліджень, у якій відзначалося підвищення вмісту солей у сніговому покриві на території міста [4]. Згодом дослідження гідрохімічного режиму атмосферних опадів продовжила О.О. Косовець-Скавронська, у кандидатській роботі якої (захищеній у 2010 р.) ряди спостережень було продовжено з 1963 до 2008 р. [2, 3]. У роботах Л.М. Горєва, В.І. Пелешенка, В.К. Хільчевського [1, 11, 13] досліджено вплив хімічного складу атмосферних опадів на іонний стік річок України. Під час проведення комплексних експедиційних гідрохімічних досліджень Київського національного університету імені Тараса Шевченка в басейнах різних річок України [12] також відбиралися разові проби атмосферних опадів.

Треба відзначити, що за загальносоюзною програмою спостереження за хімічним складом атмосферних опадів, яка діяла до 1990 р., на обраних на території колишнього СРСР метеостанціях визначалися всі головні іони - SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- (а також NO_3^-), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ (а також NH_4^+) та показники загальної мінералізації в

атмосферних опадах. Згодом в Україні на цих метеостанціях визначали лише мінералізацію у воді атмосферних опадів.

Мета даної публікації - встановлення розподілу просторових та часових закономірностей хімічного складу атмосферних опадів України та дослідження ролі різних чинників у його формуванні (у тому числі антропогенної складової). Також вирішувалося завдання оцінки впливу мінеральних речовин, що надходять з атмосферними опадами, на хімічний склад поверхневих вод і ґрунтів водозбірних площ. Відповідно, основна увага у хімічному складі атмосферних опадів була приділена головним іонам, до яких належать SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- (а також NO_3^-), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ (а також NH_4^+) та показнику загальної мінералізації. В цілому, використовувалися відомості про хімічний склад атмосферних опадів території України та прилеглих територій за період 1963-2011 рр. При цьому, в залежності від завдань та кондиційності даних, в рамках цих років могли обиратися різні періоди, для яких виконувалися розрахунки. Для визначення багаторічних закономірностей зміни хімічного складу атмосферних опадів при дослідженнях було використано дані метеостанцій, які мають найдовші ряди спостережень за хімічним складом атмосферних опадів - Тетерів, Київ, Кобеляки, Бобринець, Лошкарівка, Волноваха, Одеса, Берегове, Євпаторія, Нікітський ботанічний сад.

Результати досліджень. Регіональні закономірності хімічного складу атмосферних опадів на території України. Середні річні статистично оцінені концентрації головних іонів у атмосферних опадах України за сумарними місячними пробами за період 1963-1990 рр. наведено у табл. 1.

Мінімальні значення мінералізації атмосферних опадів фіксуються у зоні мішаних лісів на півночі країни. На метеостанції Тетерів вони становлять величину близьку до 26 мг/дм^3 . У лісостеповій та степовій зонах континентальної частини України цей показник поступово зростає до $35\text{-}40 \text{ мг/дм}^3$, сягаючи свого максимуму для степової зони на метеостанції Асканія-Нова у Херсонській області ($82,4 \text{ мг/дм}^3$). Максимальні середні річні значення мінералізації атмосферних опадів на території України зафіксовані на метеостанції Євпаторія – 128 мг/дм^3 . Зважаючи на якісний склад атмосферних опадів (переважання гідрокарбонатів над сульфатами), який характерний для повітряних мас морського походження, таку мінералізацію можна пояснити декількома факторами. Значну роль відіграє близькість хвилеприбійної зони морського узбережжя. Також не можна виключати впливу наявності великої кількості солоних озер навколо Євпаторії, що можуть слугувати додатковим джерелом надходження солей у атмосферу. На північному узбережжі Чорного моря подібні за величиною загальної мінералізації (близько 100 мг/дм^3) та хімічним складом (переважання гідрокарбонатів над сульфатним іоном) атмосферні опади спостерігаються на метеостанції м. Новоросійськ [9].

Основний внесок у мінералізацію атмосферних опадів вносять сульфатні іони, середній вміст яких становить $16,5 \text{ мг/дм}^3$, при мінімальних значеннях на метеостанціях Нікітський ботанічний сад та Тетерів ($9,3$ та $11,7 \text{ мг/дм}^3$) і максимальному - на метеостанції Євпаторія ($24,4 \text{ мг/дм}^3$). Серед катіонів переважають кальцій, магній, дещо менший вміст натрію, калію та амонію.

Зазначений розподіл вмісту досліджуваних іонів характерний для середньостатистичних значень описаного періоду і може різнитися за окремі роки. Характер зміни сумарного вмісту розчинених мінеральних речовин за багаторічний період на метеостанціях Бобринець та Тетерів відображено на рис. 1.

За багаторічний період величина мінералізації атмосферних опадів по цих метеостанціях коливалася для метеостанції Тетерів в межах $12\text{--}44 \text{ мг/дм}^3$ (середнє значення $26,7 \text{ мг/дм}^3$), а для метеостанції Бобринець відповідний показник змінювався в межах $10\text{--}65 \text{ мг/дм}^3$ (середнє значення $46,1 \text{ мг/дм}^3$). Відповідні

коливання мінералізації зумовлюються низкою природних та антропогенних чинників, які детальніше розглянуті нижче.

Таблиця 1. Середньорічні концентрації головних іонів у атмосферних опадах у різних природних зонах на території України (за сумарними місячними пробами 1963-1990 рр.), мг/ дм³ [1,6]

Метеостанція	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сума іонів
Зона мішаних лісів										
Тетерів, Київська область	11,7	2,2	4,0	1,9	1,6	2,0	1,5	1,0	0,87	26,7
Лісостепова зона										
Київ	14,4	1,4	11,3	-	0,6	1,3	0,4	5,9	0,7	26,3
Кобеляки, Полтавська область	14,8	3,8	11,0	1,6	3,5	2,8	2,9	1,4	1,14	43,0
Степова зона										
Бобринець, Кіровоградська область	14,4	3,1	14,2	1,8	4,2	4,1	2,2	1,0	1,06	46,1
Лошкарівка, Дніпропетровська обл.	15,0	3,3	4,9	1,7	2,7	2,2	1,7	1,0	1,55	34,0
Волноваха, Донецька область	16,8	4,3	6,1	1,7	3,0	2,8	3,2	1,4	1,30	40,6
Одеса	17,5	7,0	6,9	2,4	3,5	2,2	3,8	1,8	1,27	46,4
Асканія-Нова, Херсонська область	9,6	8,5	38,0	-	1,5	13,3	2,1	9,4	-	82,4
Євпаторія, АР Крим	24,4	22,1	46,0	-	-	9,1	4,1	23	-	128
Карпатська гірська країна										
Берегове, Закарпатська область	10,5	3,4	5,7	1,6	2,1	2,7	1,6	1,0	1,41	34,0
Кримська гірська країна										
Нікітський ботанічний сад, АР Крим	9,3	3,0	8,1	1,6	2,1	1,8	1,7	1,0	1,00	29,6

У цілому, для території України зміни мінералізації у період з 1963-2011 рр. супроводжувалися зменшенням у складі атмосферних опадів іонів антропогенного походження (перед усім SO₄²⁻) та збільшенням іонів переважно природного походження (Ca²⁺, HCO₃⁻). Варто також зазначити, що зміни у хімічному складі опадів у холодний сезон більш інтенсивні, ніж у теплий.

У табл. 2 наведено дані про хімічний склад атмосферних опадів у разових пробах атмосферних опадів, відібраних під час проведення експедиційних досліджень проблемної науково-дослідної лабораторії гідрохімії Київського національного університету імені Тараса Шевченка [12].

Як видно з табл. 2, хімічний склад атмосферних опадів у разових пробах атмосферних опадів, відібраних під час проведення експедиційних досліджень, близький до середніх багаторічних (див. табл. 1).

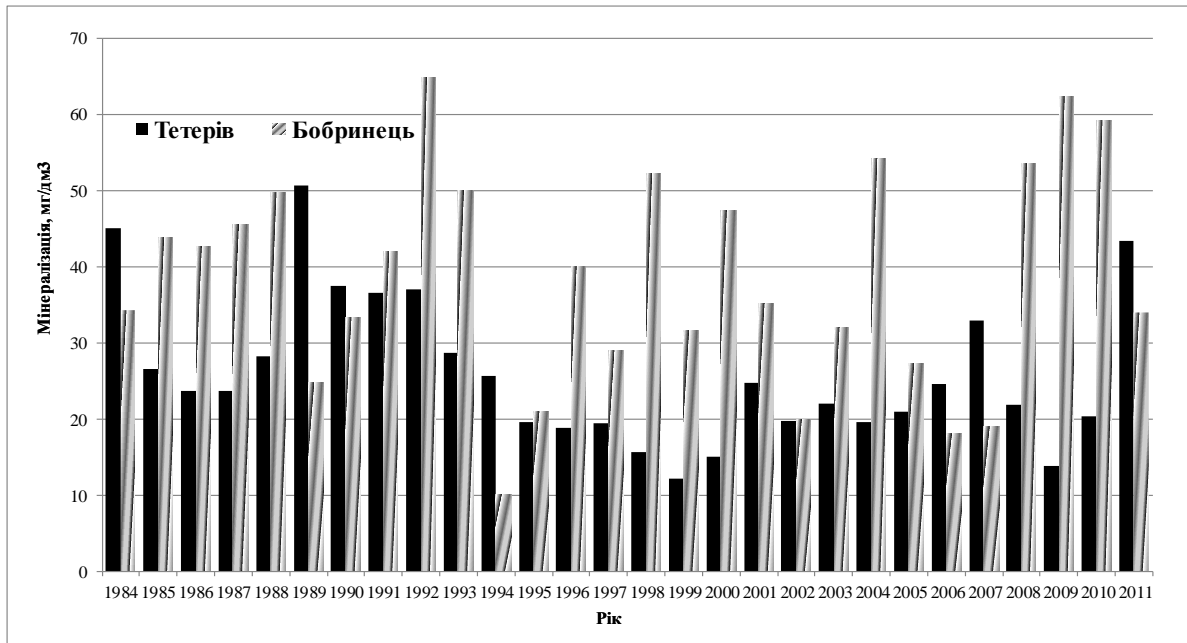


Рис 1. Зміна середньорічної мінералізації атмосферних опадів на території України по метеостанціях Бобринець та Тетерів у період 1984-2011 рр., мг/дм³

Таблиця 2. Концентрація головних іонів у разових пробах атмосферних опадів, відібраних гідрохімічними експедиціями Київського національного університету імені Тараса Шевченка [12]

Пункт	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K	Сума іонів
Смт Шацьк, Шацький район, Волинське Полісся, 1975 р.	10,8	2,1	4,2	1,8	2,0	1,5	22,4
Село Рудня Радовельська, Олевський район, Житомирське Полісся, 1978 р.	11,1	2,2	4,4	2,2	2,1	1,6	23,6
Місто Богуслав, Київська область, Лісостеп, 1982 р.	13,0	2,8	12,2	8,0	1,2	5,2	42,4

Вплив антропогенної діяльності на хімічний склад атмосферних опадів. Надходження забруднювальних речовин у атмосферу чинить безпосередній вплив на хімічний склад атмосферних опадів (рис 2), а також може спричиняти низку негативних метеорологічних явищ таких як, наприклад, кислотні дощі та смог.

Оцінка безпосереднього внеску антропогенної складової у загальний хімічний склад атмосферних опадів є надзвичайно складним завданням. На сьогодні ця проблема вирішується декількома методами, які застосовуються нижче.

1). *Оцінка ступеню трансформації повітряних мас над континентами (вміст іонів морського та континентального походження).* Оцінка потенційних джерел домішок в атмосферних опадах часто утруднена в силу різноманіття умов надходження домішок в атмосферу, а також їх поєднання між собою при різних погодних ситуаціях. Серед таких умов можна виділити наступні: траєкторія переміщення повітряної маси, вітровий режим і турбулентність нижніх шарів атмосфери, тип підстильної поверхні, над якою проходить повітряна маса. Крім того, важливий час перебування домішки в атмосфері. Таким чином, хімічний склад

атмосферних опадів являє собою складний накопичувальний результат процесів, що відбувалися при русі повітряної маси. При розгляді співвідношення іонів у воді атмосферних опадів можна виділити два типи хімічного складу:

- 1) з переважанням іонів морського походження;
- 2) з переважанням іонів континентального походження.

Над морською поверхнею більша частина ядер конденсації це - частинки морської солі. Тому іони Cl^- та Na^+ переважають в повітряних масах над океаном. Над континентами їх внесок зменшується, але зростає концентрація іонів Ca^{2+} та K^+ , а також SO_4^{2-} і NO_3^- , які мають, в основному, континентальне, в тому числі антропогенне походження [9].

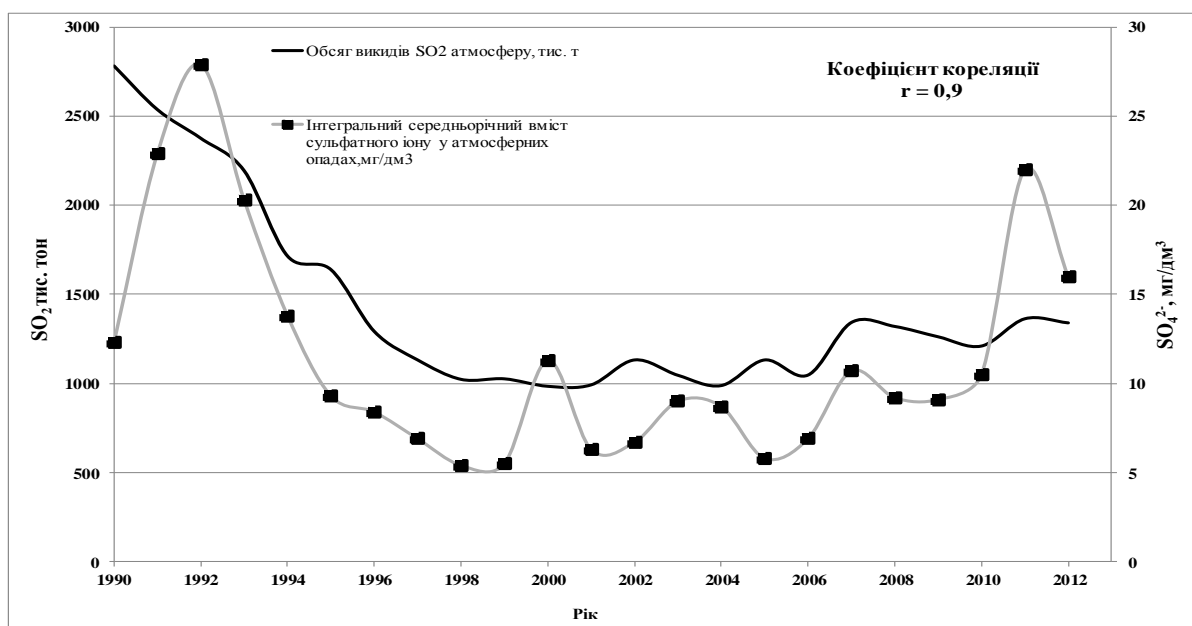


Рис. 2. Залежність концентрації сульфатного іону (SO_4^{2-} , мг/дм³) у атмосферних опадах від обсягів викидів сірчаного ангідриду (SO_2 , тис. т) на території України, 1990-2011 рр.

На основі даного підходу [9] нами було розраховано для території України співвідношення між вмістом іонів морського (Cl^- , Na^+) та континентального (Ca^{2+} , K^+) походження: $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$; $(\text{Mg}^{2+}+\text{Na}^+)/(\text{Ca}^{2+}+\text{K}^+)$ - табл. 3.

Таблиця 3. Співвідношення між середньорічним вмістом іонів морського (Cl^- та Na^+) і континентального (Ca^{2+} та K^+) походження в атмосферних опадах на території України для періодів 1963-1973 рр. та 1963-1990 рр.

Метеостанція	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$		$(\text{Mg}^{2+}+\text{Na}^+)/(\text{Ca}^{2+}+\text{K}^+)$	
	1963-1973 рр.	1963-1990 рр.	1963-1973 рр.	1963-1990 рр.
Тетерів	10,5	0,254	2,426	2,195
Кобеляки	0,262	0,347	2,273	1,704
Бобринець	0,209	0,291	2,271	1,856
Лощкарівка	0,293	0,297	1,580	1,601
Волноваха	0,338	0,346	1,558	2,004
Одеса	0,446	0,541	2,245	1,576
Берегово	0,249	0,319	2,229	2,255
Нікітський ботанічний сад	0,522	0,436	2,252	1,714
Середнє по Україні	0,319	0,328	2,092	1,701

Отримані значення співвідношень вказують на високий вміст іонів континентального (у тому числі і антропогенного) походження. Це виражається у низьких значеннях співвідношень між хлоридними та сульфатними іонами. У атмосферних опадах, сформованих океанічними або морськими повітряними масами, це значення у декілька разів вище. Така сама тенденція характерна і для співвідношень між катіонною групою – воно характерне для континентальних повітряних мас з високим ступенем антропогенного забруднення. При порівнянні двох розрахункових періодів (1963-1973 рр. та 1963-1990 рр.) видно, що незначно змінюється роль континентально-антропогенної складової у формуванні хімічного складу атмосферних опадів для другого періоду.

Для аніонної групи це виражається у деякому зменшенні вмісту сульфатного іону – абсолютні значення співвідношення Cl^-/SO_4^{2-} зростають для більшості метеостанцій. Для катіонної групи спостерігається підвищення вмісту іонів $Ca^{2+}+K^+$, які мають переважно континентальне походження. Це може свідчити про зміну структури континентально-антропогенної складової та її ролі у формуванні мінералізації атмосферних опадів.

Як видно, зазначений підхід не дає змогу оцінити кількісні показники ступеня трансформації повітряних мас над континентами. Для цього застосовується кількісне співвідношення між вмістом в атмосферних опадах іону натрію та інших іонів. Для обчислення концентрацій іонів без вкладу морської складової застосувалися співвідношення, які звичайно використовуються в зарубіжній науковій літературі [9, 15]:

$$C_{Ion\ NSS} = [C_{Ion}] - [C_{IonSW}/Na_{SW}] \times [Na],$$

де: $C_{Ion\ NSS}$ – розрахункова концентрація даного іону в атмосферних опадах, сформована без внеску морської складової (NSS - non sea-salt), тобто, за рахунок континентальної складової, мг/дм³; $[C_{Ion}]$ – реальна концентрація даного іону в атмосферних опадах, мг/дм³; C_{IonSW}/Na_{SW} – співвідношення між реальною концентрацією даного іону та іону натрію у морській воді (SW – sea water); $[Na]$ – реальна концентрація іону натрію у воді атмосферних опадів, мг/дм³.

За цією схемою для 8-и метеостанцій України було отримано розрахункові концентрації головних іонів у атмосферних опадах без внеску морської складової ($C_{Ion\ NSS}$), тобто, концентрації, що формуються за рахунок континентальної складової.

Значення відносного внеску континентальної складової (у %) у формування реальної концентрації іонів у атмосферних опадах розраховувалося як співвідношення $C_{Ion\ NSS}/C_{Ion}$ (тобто, вираховувалася частка з реальної концентрації).

Отримані таким чином значення дали змогу кількісно оцінити внесок континентальної (або континентально-антропогенної) складової у воді атмосферних опадів на території України (табл. 4).

2). *Оцінка антропогенної складової хімічного складу атмосферних опадів шляхом порівняння фактичних показників хімічного складу атмосферних опадів або їхньої мінералізації з природним фоном певної території [7].*

За цим методом вирізняють абсолютний можливий мінімум мінералізації атмосферних опадів – так званий *глобальний (міжрегіональний) природний фон (ГПФ)*. За нього приймається величина мінералізації у діапазоні 1-3 мг/дм³.

На другому етапі визначають так званий *регіональний природний фон (РПФ)* – діапазон мінералізації атмосферних опадів з величиною 3-15(20) мг/дм³. Нижня межа обумовлена максимальним значенням глобального природного фону, верхня – особливостями фізико-географічного положення конкретної території.

Порівнюючи фонові значення з хімічним складом атмосферних опадів можна отримати уявлення про кількісний внесок антропогенної складової.

Приклад подібної оцінки для метеостанції Тетерів на території України наведено у табл. 5.

Таблиця 4. Відносний внесок континентальної складової у формування хімічного складу атмосферних опадів (концентрацій SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) на території України для періодів 1963-1973 рр. та 1963-1990 рр., %

Метеостанція	SO_4^{2-} %		Cl^- %		Ca^{2+} %		K^+ %		Mg^{2+} %	
	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990	1963-1973	1963-1990
Тетерів	92,3	81,6	0	0	96,4	96,4	95,6	96,8	85,7	91,3
Кобеляки	91,4	89,3	0	0	94,1	96,8	96,5	95,1	89,0	87,9
Бобринець	89,6	87,1	0	0	98,0	98,0	96,5	96,2	85,3	93,8
Лошкарівка	92,3	91,3	0	0	94,1	97,6	96,7	97,2	85,2	91,0
Волноваха	92,3	89,3	0	0	95,9	95,9	96,2	95,2	81,0	86,7
Одеса	92,0	90,8	0	0	93,2	95,8	97,1	94,6	90,6	79,9
Берегово	91,5	85,8	0	0	92,7	97,1	96,3	97,2	85,5	93,1
Нікітський ботанічний сад	89,8	89,1	0	0	92,5	96,9	94,3	95,4	87,6	89,0
Середнє по Україні	91,5	88,6	0	0	94,6	97,3	96,3	96,2	86,9	90,3

Таблиця 5. Оцінка антропогенної складової у атмосферних опадах по метеостанції (МС) Тетерів з використанням даних по мінералізації атмосферних опадів за глобальним природним фоном (ГПФ) та регіональним природним фоном (РПФ)

Метеостанції	Аніони				Катіони					Сума іонів
	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	
Концентрація іонів у атмосферних опадах за ГПФ, мг/дм ³	0,93	0,3	0,23	0,03	0,23	0,05	0,09	0,06	0,36	2,3
Концентрація іонів у атмосферних опадах за РПФ, мг/дм ³	2,0	1,16	1,7	1,9	0,95	0,16	0,7	0,25	0,4	5,4
Концентрація іонів у атмосферних опадах, мг/дм ³	11,7	2,2	4,0	1,9	1,6	2	1,5	1,0	0,87	19,9
Абсолютна антропогенна складова у атмосферних опадах, мг/дм ³	9,7	1,04	2,3	0,9	0,65	1,84	0,8	0,75	0,47	14,5
Відносна антропогенна складова у атмосферних опадах, %	83	47	58	47	41	92	54	75	54	72

У якості тестової метеостанцію Тетерів було обрано з наступних причин. На території України відсутні метеостанції, які б визначали регіональний природний фон та входили у програму Глобальної служби атмосфери Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Найближчими до території України є

метеостанції Приоксько-Терасного та Воронезького біосферних заповідників. У нашому випадку у якості фонових значень були використані дані метеостанції Воронезького біосферного заповідника, для якої регіональний фон визначається щорічно, і географічне положення та інші умови якої є найбільш близькими до метеостанції Тетерів. Зважаючи на відносну подібність значень регіонального фонових рівня для згаданих територій це не призведе до суттєвих похибок у подальших розрахунках.

Як видно з табл. 5, найбільша частка антропогенної складової у сумарний вміст розчинених мінеральних речовин у атмосферних опадах припадає на іони сірки та магнію. Як вже зазначалося, вміст сульфатних іонів дуже сильно залежить від кількості сірчаного ангідриду, що викидається в атмосферу з промисловими газами. А велика частка іону магнію є, скоріше за все, наслідком великого ступеня розораності території України, і як наслідок, надходження його з пилуватими частками у атмосферу.

Мінімальна частка антропогенної складової припадає на іон кальцію. Максимальна, як і у попередніх варіантах розрахунків, належить іонам магнію та сульфатним іонам. Отримані результати кореспондуються з оцінкою антропогенної складової у хімічному складі атмосферних опадів, отриманих для Приоксько-Терасної метеорологічної станції, значення якої становило 65% [8].

Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами та їх вплив на хімічний склад поверхневих вод. Географічний розподіл надходження речовин на одиницю площі відрізняється від розподілу концентрацій цих речовин в опадах, оскільки залежить від суми атмосферних опадів. Найбільшу кількість на земну поверхню приносять опади сульфатів. Їх випадіння змінюється від 4,2-4,3 т/км² у степовій зоні та Кримській гірській країні до 15 т/км² у Карпатах. Деяко менше надходить з опадами гідрокарбонатного іону - від 1,6 т/км² у степовій зоні до 4,7 т/км² у гірських та вулканічних Карпатах. Подібний розподіл по території України характерний і для хлоридів. Максимальна їх кількість (2,8 т/км²) випадає у Карпатах, мінімальна 1,1-1,2 т/км² надходить у Поліссі та Лісостепу. Серед надходження катіонів домінуюча роль належить іонам натрію та калію – 0,9-2,8 т/км².

У цілому на території країни щорічно випадає з атмосферними опадами 7,3 млн. т розчинених мінеральних речовин, у тому числі в зоні мішаних лісів (Полісся) - 1,22 млн. т; зоні лісостепу - 3,03; зоні степу - 2; Карпатській гірській країні - 0,95; у Кримській гірській країні - 0,12 млн. т (табл.6).

Величина надходження розчинених мінеральних речовин у розрахунку на 1 км² (модуль надходження розчинених мінеральних речовин, т/км²) становить 12,1 т, у тому числі в Криму, Поліссі і лісостеповій зоні - понад 13 т, у степовій зоні - 9,5, Передкарпатті - 21,2, Гірських Карпатах - 29,9, у Закарпатті - 21,1 т/км².

Просторовий розподіл надходження компонентів хімічного складу опадів формується в основному двома факторами: кількістю опадів та рівнем забруднення атмосфери, при чому, для одних речовин головну роль відіграє перший фактор, а для інших – другий.

Кількісний склад розчинених в атмосферних опадах речовин має значний вплив на іонний стік з поверхні суші. Так, за підрахунками Г.О. Максимовича (1955), солі, які надходять з опадами на континенти за рахунок впливу океану, становлять шосту частину розчинених речовин, що виносяться річками в моря, інша частина солей континентального походження. Кількісний склад розчинених в атмосферних опадах речовин має значний вплив на іонний стік з поверхні суші. У межах території України величина атмосферної складової сумарного середньорічного іонного стоку

річок, розрахована у працях [1, 10, 11] (табл. 7), досягає 2,65 млн. т, або 4,5 т у розрахунку на 1 км², що досягає – 12 % сумарного іонного стоку річок.

Таблиця 6. Показники середньорічних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України у різних природних регіонах (над ризикою – тис. т, під ризикою – т/км²) [1]

Природні регіони	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Сума іонів
Полісся	<u>80,8</u> 0,8	<u>92</u> 0,9	<u>129</u> 1,4	<u>238</u> 2,7	<u>562</u> 6,1	<u>113</u> 1,2	<u>1216</u> 13,1
Лісостеп	<u>231</u> 1,1	<u>195</u> 0,8	<u>265</u> 1,2	<u>659</u> 2,9	<u>1385</u> 6,1	<u>292</u> 1,1	<u>3027</u> 13,2
Степ	<u>173</u> 0,9	<u>136</u> 0,6	<u>177</u> 0,9	<u>329</u> 1,6	<u>933</u> 4,3	<u>247</u> 1,2	<u>1995</u> 9,5
Передкарпаття	<u>22,0</u> 1,5	20,1 1,5	<u>25,0</u> 1,8	<u>43,1</u> 2,9	<u>136</u> 9,7	<u>25,0</u> 1,6	<u>271</u> 19
Гірські та вулканічні Карпати	<u>50,8</u> 2,4	<u>46,2</u> 2,2	<u>57,5</u> 2,8	<u>98,8</u> 4,7	<u>313</u> 15	<u>57,5</u> 2,8	<u>624</u> 29,9
Закарпатська рівнина	<u>4,5</u> 1,7	<u>4,1</u> 1,6	<u>5,1</u> 1,9	<u>8,8</u> 3,3	<u>17,7</u> 10,6	<u>5,1</u> 1,9	<u>55,3</u> 21,1
Кримська гірська країна	<u>12,7</u> 1,5	<u>8,6</u> 1,1	<u>11,2</u> 1,3	<u>34,1</u> 4,1	<u>35,6</u> 4,2	<u>13,7</u> 1,6	<u>116</u> 13,8
Україна в цілому	<u>578</u> 0,9	<u>5,3</u> 0,8	<u>670</u> 1,1	<u>1411</u> 2,4	<u>3392</u> 5,6	<u>753</u> 1,3	<u>7303</u> 12,1

Аналіз показників атмосферної складової, яка бере участь у формуванні іонного стоку річок України свідчить, що відносна величина її збільшується від 2,1 т/км² в степовій зоні до 24,8 т/км² у Гірських Карпатах - в основному за рахунок сульфатів, менше - за рахунок хлору, натрію і калію (див. табл. 7). Це пояснюється збільшенням величин модулів водного стоку. З цієї причини величини атмосферної складової зростають в кілька разів у межах гірських країн [1].

Таблиця 7. Значення атмосферної складової, що бере участь у формуванні середньорічного іонного стоку річок у різних природних регіонах України (над ризикою – тис. т, під ризикою – т/км²) та частка солей з атмосферних опадів, що йде на формування іонного стоку (%) [1]

Природні регіони	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Сума іонів
Полісся	<u>30,8</u> 0,3	<u>35,3</u> 0,3	<u>49</u> 0,5	<u>90</u> 1,1	<u>212</u> 2,3	<u>42,9</u> 0,4	<u>460</u> 4,9
Лісостеп	<u>72</u> 0,3	<u>60</u> 0,2	<u>82</u> 0,4	<u>204</u> 0,9	<u>429</u> 2	<u>91</u> 0,4	<u>938</u> 4,2
Степ	<u>35</u> 0,2	<u>27</u> 0,1	<u>35</u> 0,2	<u>66</u> 0,4	<u>18,7</u> 0,8	<u>49</u> 0,4	<u>399</u> 2,1
Передкарпаття	<u>16,5</u> 1,1	<u>15,1</u> 1,1	<u>18,8</u> 1,3	<u>32,3</u> 2,1	<u>102</u> 7,1	<u>18,7</u> 1,1	<u>203</u> 13,8
Гірські та вулканічні Карпати	<u>42,2</u> 2	<u>38,3</u> 1,8	<u>47,7</u> 2,3	<u>82,1</u> 3,9	<u>260</u> 12,5	<u>47,7</u> 2,3	<u>518</u> 24,8
Закарпатська рівнина	<u>2,7</u> 1	<u>2,5</u> 1	<u>3,1</u> 1,1	<u>6,3</u> 2,1	<u>16,6</u> 6,3	<u>3,1</u> 1,1	<u>33,3</u> 12,8
Кримська гірська країна	<u>10,8</u> 1,3	<u>7,3</u> 0,9	<u>9,5</u> 1,1	<u>29</u> 3,5	<u>30,3</u> 3,6	<u>11,6</u> 1,4	<u>98,6</u> 11,8
Україна в цілому	<u>213</u> 0,3	<u>185</u> 0,3	<u>245</u> 0,4	<u>508</u> 1	<u>1236</u> 2	<u>264</u> 0,5	<u>2650</u> 4,5

Примітка. - 38* - відсоток (%) від кількості іонів, що надходять з атмосферними опадами

Величина середньорічних надходжень з опадами розчинених мінеральних речовин, які не беруть участі у формуванні іонного стоку річок України, становить 4,65 млн т, або 64 % всіх річних надходжень солей з атмосферними опадами. Сучасні розрахунки, виконані на довгих рядах спостережень (1963-1990 рр), підтвердили виявлені раніше тенденції формування хімічного складу атмосферних опадів [5].

За цей період, на відміну від періоду 1963-1973 рр., значно зросло антропогенне навантаження на навколишнє середовище, що відбилося на досліджуваних показниках убік зростання їх абсолютних величин.

Висновки. Мінералізація атмосферних опадів над територією України зазвичай коливається в межах 30-40 мг/дм³. Мінімальні середні річні значення мінералізації атмосферних опадів фіксуються у зоні мішаних лісів на півночі країни - близько 26 мг/дм³. Максимальні - зафіксовано на метеостанції Євпаторія – 128 мг/дм³.

У хімічному складі атмосферних опадів серед аніонів переважають сульфати, а серед катіонів - у більшості випадків магній.

Частка солей континентально-антропогенного походження у загальному хімічному складі атмосферних опадів на території України становить 90-93%, солей морського походження - 7-10%.

Антропогенна складова мінералізації атмосферних опадів, розрахована вперше для території України (метеостанція Тетерів) методом порівняння з регіональним природним фоном, становить 72%.

Показники річних надходжень розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами на територію України у різних природних регіонах змінюються в межах 9,5 – 29,9 т/км².

Частка солей з атмосферних опадів, що йде на формування іонного стоку, річок України, становить 36%.

Список літератури

1. Горєв Л.М. Гідрохімія України: підручник / Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський – К.: Вища школа, 1995. - 307 с.
2. Косовець-Скавронська О.О. Надходження хімічних речовин з атмосферними опадами на територію України та оцінка їх ролі у формуванні хімічного складу річкових вод: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / О.О. Косовець-Скавронська / Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2010. - 20 с.
3. Косовець-Скавронська О.О. Часова трансформація хімічного складу атмосферних опадів на території України / О.О. Косовець-Скавронська, С.І. Сніжко / Економічна та соціальна географія. – 2008 – Вип. 58 – С. 242–252.
4. Пелешенко В.И. Влияние антропогенных факторов на химический состав снежного покрова г. Киева и прилегающих районов / В.И. Пелешенко, Н.И. Ромась, В.К. Хильчевский и др. // Гидрохимические материалы. – 1986. – Т. 13. (ДСП). – С. 3-9.
5. Ромась Н.И. Закономерности формирования химического состава атмосферных осадков на территории УССР / Н.И. Ромась. - Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: гидрохимия / Гидрохимический ин-т Госкомгидромета СССР. – Ростов-на-Дону, 1981. – 17 с.
6. Ромась М.І. Формування хімічного складу атмосферних опадів на території України / М.І. Ромась, О.О. Косовець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2007. — Т. 12 – С. 172–181.
7. Свистов П.Ф. Фоновый уровень состояния атмосферы по многолетним данным о химическом состав атмосферных осадков/ П.Ф. Свистов, А.И. Полищук, Н.А. Першина // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. - 2009. - Вып. 560 - С.116-143.
8. Свистов П.Ф. Минерализация осадков в диагнозе изменений загрязнения окружающей природной среды / П.Ф. Свистов, А.И. Полищук, Н.А. Першина // Тезисы докладов Международной научной конференции - Казань, 2012. - С. 305-307.
9. Суркова Г.В. Влияние континентальных и морских источников на химический состав летних атмосферных осадков северо-восточного побережья Черного моря / Г.В. Суркова, И.Д. Еремина, С.А. Зорина. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр., Севастополь. - 2005. - Вып. 12. - С. 208-

214. **10.** Хильчевський В.К. Основи гідрохімії: підручник / В.К. Хильчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с. **11.** Хильчевський В.К. Изменение химического состава речных вод бассейна Верхнего Днепра под влиянием антропогенного фактора / В.К. Хильчевский. - Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: гидрохимия / Гидрохимический ин-т Госкомгидромета СССР. – Ростов-на-Дону, 1984. – 17 с. **12.** Хильчевський В.К. Перші комплексні гідрохімічні дослідження Шацьких озер на Волині у 1975 р. - початок формування наукової школи гідрохімії та гідроекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка / В.К. Хильчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2015. — Т. 4 (39) – С. 64-71. **13.** Хильчевський В.К. Изменение ионного стока рек бассейна Верхнего Днепра в связи с хозяйственной деятельностью / В.К. Хильчевский, В.И. Пелешенко // Гидрохимические материалы. – 1987. – Т. 14. (ДСП). – С. 58-64. **14.** Хильчевський В.К. Трансформация химического состава речных вод Украины в условиях изменения климата [Электронный ресурс] / В.К. Хильчевский // Мат-лы Международной научн. конф.: Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. – Минск: Белорусский гос. ун-т. – 2015. - Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/118468>. **15.** Keene, W.C., 1986, Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation / W.C. Keene, A.P. Pszenny, J.N. Galloway, M.E. Hawley // Journal of Geophysical Research. – 1986. - № 91 (D6). - P. 6647-6658.

Хімічний склад атмосферних опадів на території України та його антропогенна складова Хильчевський В.К., Курило С.М.

Викладено детальний аналіз хімічного складу атмосферних опадів над територією України. Наведено відомості про основні чинники, що впливають на його формування. Встановлено, що частка солей континентально-антропогенного походження у загальному хімічному складі атмосферних опадів на території України становить 90-93 %, солей морського походження - 7-10%. Антропогенна складова мінералізації атмосферних опадів, розрахована вперше для території України (метеостанція Тетерів) методом порівняння з регіональним природним фоном, становить 72%.

Ключові слова: атмосферні опади, хімічний склад, антропогенна складова.

Химический состав атмосферных осадков над территорией Украины и его антропогенная составляющая

Хильчевский В.К., Курило С.М.

Изложен детальный анализ химического состава атмосферных осадков над территорией Украины. Приведены сведения об основных факторах, которые влияют на его формирование. Установлено, что доля солей континентально-антропогенного происхождения в общем химическом составе атмосферных осадков на территории Украины составляет 90-93 %, солей морского происхождения - 7-10 %. Антропогенная составляющая минерализации атмосферных осадков, рассчитанная впервые для территории Украины (метеостанция Тетерев) методом сравнения с региональным природным фоном, составляет 72 %.

Ключевые слова: атмосферные осадки, химический состав, антропогенная составляющая.

Chemical composition of precipitation in Ukraine and its anthropogenic component

Khilchevsky V., Kurilo S.

The thesis is devoted to determination of contemporary wet deposition of chemical substances in Ukraine and estimation of its contribution to the formation of chemical composition of river water. The survey of chemical composition of atmospheric precipitation in different regions of the world had been done. The dynamics of chemicals content in precipitation during 1984-2011 years in warm and cold seasons had been studied, and three homogeneous periods of forming chemical composition of atmospheric precipitation was found. Furthermore, the estimation of chemical composition of precipitation was performed within these periods. Transformation of chemical composition of atmospheric precipitation over the territory of Ukraine during 1963-1990 years was investigated. Using the period of 1997-2008 years for estimation modern chemical composition of precipitation was substantiated. The quantitative estimation of wet deposition of chemicals with atmospheric precipitation in the modern period was made; moreover, spatial distribution of wet deposition of chemicals was investigated. The quantity of atmospheric component in the average annual flow of main chemical components the rivers of Ukraine was calculated. This calculated the anthropogenic component of the chemical composition of atmospheric precipitation. The method for determining nss sulfate or chloride (Keene and others, 1986) involves subtracting the seasalt-derived

sulfate or chloride from the total amount measured, based on a reference species (usually Mg^{2+} or Na^{+}) and the ratio of the two constituents in seawater. This method relies on three assumptions: 1) the reference species used must be entirely of sea-salt origin, 2) there is no fractionation of sea-salt species during sea-salt aerosol formation, and 3) there is no fractionation of sea-salt species as the aerosol is scavenged by precipitation. A fourth assumption is necessary with our 6-month collection interval; 4) there is no significant loss or transformation of the chemical species of interest in the collectors in the time between deposition and analysis. An anthropogenic constituent of chemical composition of precipitation is 72 %

Keywords: precipitation, chemical composition, anthropogenic part of chemical composition.

Надійшла до редколегії 27.10.2016

УДК 504.064

Федоненко О. В., Ананьєва Т. В., Ніколенко Ю. В.

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІКИ МОКРА СУРА ЗА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Ключові слова: гідрохімічні показники, якість води, екологічна оцінка, р. Мокра Сура.

Постановка та актуальність проблеми. Останнім часом антропогенне навантаження на водні об'єкти України досягло дуже високого рівня, що, в свою чергу, призвело до погіршення якості води, порушення біологічного балансу річкових екосистем, зникнення функціонально важливих видів, угруповань рослин і тварин, які забезпечують процеси самоочищення і життя річок [1, 7]. Особливо це стосується малих річок, які формують «водний потенціал» країни. Ці річки є найбільш вразливими в системі відношень людина–природа, вони першими зазнають виснаження, засмічення і замулення [4].

Інтенсивна і недостатньо контрольована господарська діяльність людини зумовила екологічну кризу малих річок Дніпропетровської області. Скорочений і порушений водний баланс, постійне надходження забруднень з поверхневим стоком, стічними водами промислових і господарсько-побутових підприємств призвело до такого погіршення якості води, що вона стала непридатною не тільки для питного водозабезпечення, а й для технічних і сільськогосподарських потреб.

Такі проблеми характерні і для р. Мокра Сура – правої притоки Дніпра, басейн якої знаходиться повністю в межах Дніпропетровської області. По всій довжині річка забруднюється поверхнево-схиловим стоком, який змиває, поряд з родючим ґрунтом, мінеральні добрива та пестициди. У нижній течії становище ускладнюється надходженням в річку стічних вод низки промислових підприємств м. Дніпро. Річка обміліла, відбуваються інтенсивні процеси заростання, що веде до вторинного біологічного забруднення, зменшення біорізноманіття [9].

Так, за даними гідрохімічних досліджень, спостерігалися сталі перевищення ГДК для рибогосподарського користування: БСК₅ (біохімічне споживання кисню), завислі речовини, вміст заліза, вміст розчиненого кисню, хімічне споживання кисню і вміст хлору [6].

На сьогоднішній день об'єкт мало вивчений. У нижній течії р. Мокра Сура є центром рекреації (по її берегах розташовані садові ділянки жителів м. Дніпро, садові центри), об'єктом аматорського і спортивного рибальства. Вода ріки використовується для сільськогосподарського водопостачання, зрошення, інших технічних цілей, до того ж вона безпосередньо впливає на якість води Дніпра. В гирлі річки ведеться рибний промисел, крім того, вода використовується для