

Л.І. ПІПАШ, П.С. ПАПАРИГА, Н.Ф. АНДРІЙЧУК, А.В. ВЕКЛЮК
Карпатський біосферний заповідник
м. Рахів, 90600, Україна

ДИНАМІКА ГІДРОХІМІЧНОГО СКЛАДУ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ У КАРПАТСЬКОМУ БІОСФЕРНОМУ ЗАПОВІДНИКУ

Піпаш Л.І., Папарига П.С., Андрійчук Н.Ф., Веклюк А.В. **Динаміка гідрохімічного складу атмосферних опадів у Карпатському біосферному заповіднику.** – Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України. – 2020. – №1 (5). – С. 71–78.

За результатами проведених досліджень зафіксовано мінімальні, максимальні, середньорічні і середньосезонні значення рН у атмосферних опадах території Рахів-Берлибаського природоохоронного науково-дослідного відділення (ПНДВ) Карпатського біосферного заповідника (КБЗ) упродовж 2015-2019 років та проаналізовано динаміку вмісту головних іонів сольового складу. Досліджувана територія є заповідною і характеризується незначним техногенним навантаженням, оскільки усі великі промислові підприємства зупинили свою діяльність ще у середині дев'яностих років минулого століття і небезпечні аерозолі-поліутанти у атмосфері над нею практично не мають здатності утворюватись. Підвищені концентрації деяких компонентів хімічного складу атмосферних опадів є не аборигенного походження, тобто більшість з них привносять переважні на цій території південно-західні (близько 35%) та північно-східні (близько 30%) повітряні маси. Водночас, згідно аналізу довготривалих середньорічних даних досліджень, спостерігається чітка тенденція до зниження водневого показника. Отже, на думку авторів, головний внесок у забруднення атмосферних опадів досліджуваної території забезпечують промислові підприємства сусідніх, промислово-розвинутих регіонів. З'ясовано, що проблеми транскордонних переносів забруднюючих речовин атмосферними течіями мають місце навіть на заповідних територіях, розташованих на значних відстанях від промислово розвинутих регіонів.

Ключові слова: атмосферні опади, транскордонні переноси, хімічний склад, показник рН, загальна мінералізація, кислі опади

Pipash L.I., Paparyga P.S., Andriychuk N.F., Veklyuk A.V. **Dynamics of hydrochemical composition of precipitations in the Carpathian Biosphere Reserve**

Basing on the results of the conducted studies, were fixed minimal, maximal, average yearly and average seasonal pH values in the atmospheric precipitation on the territory of the Rakhiv-Berlybash Nature Protection Scientific Field Division of the Carpathian Biosphere Reserve (CBR) during the years 2015-2019 and the dynamics of the content of the main ions of the salt composition was analyzed. The study area is protected and characterized by a small technogenic pressure, since all large industrial enterprises ceased their operations in the mid-1990s of the past century and dangerous aerosol-pollutants in the atmosphere above it have virtually no ability to form. Increased concentrations of some components of the chemical composition of precipitations are of non-native origin, meaning that most of them were brought by the, dominating on this territory, southwestern (approximately 35%) and northeastern (approximately 30%) air masses. At the same time, according to the analysis of long-term average annual research data, there is a clear tendency to decrease of hydrogen index. Therefore, according to the authors, the major contribution to the atmospheric pollution of the study area is provided by the industrial enterprises of neighboring, industrially developed regions. It was found that problems of transboundary movements of pollutants by atmospheric flows occur even in protected areas, located at considerable distances from industrialized regions.

Key words: atmospheric precipitations, transboundary movements, chemical composition, pH index, general mineralization, acid precipitations

Процеси формування хімічного складу майбутніх атмосферних опадів відбуваються у хмарах та у приземному шарі атмосфери, а джерелом хімічних компонентів в атмосферних опадах є аерозолі атмосфери – агрегати розчинених солей, краплинки розчинів газів, частинки диму, органічні речовини промислові викиди, тощо. У подальшому краплі дощу чи снігу при падінні з хмар вимивають з повітря значну кількість аерозолів. За даними досліджень (Гопченко, Шакірманова, 2005) на територію України щорічно привноситься з опадами 7,3 млн т мінеральних речовин, найбільша частина – у зоні лісостепу (3,03 млн т), найменша – у Закарпатті (0,055 млн т). Наукові дослідження щодо транскордонного привнесення цих забруднюючих речовин на заповідні території тривалий час перебували поза увагою дослідників. У Карпатському біосферному заповіднику (КБЗ) гідрохімічні дослідження, як окрема складова фоновий моніторинг, проводяться з 2003 року, а систематичні спостереження за гідрохімічним станом атмосферних опадів започатковані у 2006 році. На даний час аналіз існуючих наукових даних (Жовинський, Крюченко, Папарига, 2012.; Піпаш, Папарига, 2016) дозволяє констатувати, що роль атмосферних опадів, як чинника формування екологічної небезпеки заповідних територій, вивчено недостатньо. Тому метою дослідження було проаналізувати динаміку хімічного складу дощових та снігових вод на заповідній території, компонентом якої є комплекс забруднюючих речовин, які потрапили у атмосферу на віддалених від заповідника промислово розвинених регіонах і були перенесені атмосферними течіями на значні відстані та перевідкладені разом із атмосферними опадами на досліджувану територію.

Водночас, дані гідрохімічного складу атмосферних опадів дають змогу використовувати їх як індикатор екологічного стану атмосферного повітря, адже краплі дощу чи снігу при падінні з хмар вимивають з повітря значну кількість аерозолів.

Матеріали та методика досліджень

Джерелом аналітичних досліджень були дані про хімічний склад атмосферних опадів околиці м. Рахів за 2015-2019 рр. Лабораторно-аналітичний метод використовували для визначення показників у пробах атмосферної води за загальноприйнятими методиками. Разові проби свіжого дощу і снігу відбирались на метеопосту Рахів-Берлибаського природоохоронного науково-дослідного відділення (ПНДВ) КБЗ за допомогою пробовідбірника, який виставлявся на період випадання опадів на висоті 1,5 м над поверхнею ґрунту, згідно методики Щербатюк, 1985 р. Проби снігу для аналізу попередньо були розтоплені. Середньомісячні проби атмосферних опадів було зібрано у хімічно інертний посуд та проаналізовано в хімічній лабораторії КБЗ на вміст головних іонів сольового складу: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ в мг/дм^3 , згідно стандартних методик. Показник рН вимірювали електрометричним методом за допомогою приладу РН-150. Середні значення показника рН за місяць, сезон та рік виводилось в залежності від кількості відборів та кількості опадів пропорційно. Всі прилади, що використовувались при аналітичних роботах, проходили процедуру щорічної державної повірки.

Результати досліджень та їх обговорення

Місцем відбору проб слугувала територія Рахів-Берлибаського природоохоронного науково-дослідного відділення (ПНДВ) Карпатського біосферного заповідника, яка розташована у V-подібній долині у п'яти кілометрах південно-західніше від міста Рахів, яке по периметру оточене трьома гірськими хребтами: з півдня – Мармароськими горами; із заходу та північного заходу – Свидовецьким хребтом; із півночі та північного сходу – Черногірським хребтом. Вище наведені гірські хребти є найвищогірнішими в Українських Карпатах і, відповідно, слугують головною перешкодою для вільного просування повітряних мас із різних регіонів. За багаторічними даними

гідрометеопоста Центральної садиби КБЗ (Літопис природи Карпатського біосферного заповідника, 2004-2019) у цьому регіоні переважаючими є південно-західні вітри у зимовий період та, у меншій мірі, північно-східні вітри у весняно-літній період. Клімат помірний, переважають процеси переносу атлантичних повітряних мас, середньорічна температура в районі досліджень становить $+8.4^{\circ}\text{C}$, середньомісячна температура липня становить $+18.3^{\circ}\text{C}$, а січня -2.3°C . У середньому за рік випадає 1250 мм опадів, із них 950 мм протягом вегетаційного періоду. Вологість повітря висока, в середньому за рік вона становить 80 відсотків. Товщина снігового покриву за зимовий сезон коливалася в межах від 5 до 50 см (у середньому 10 см).

Дані спостережень за зміною показника рН атмосферних опадів та їх хімічного складу за період 2015-2019 років наведено у таблицях 1-3, а на рисунках 1-4 представлена динаміка середніх значень рН атмосферних опадів по сезонах. Всього за цей період було проаналізовано 227 разових та середніх проб атмосферних опадів.

Із 36-ти відібраних та проаналізованих проб атмосферних опадів за 2015-й рік у 19-ти пробах показник рН був менше рівноважного значення 5,6 (по Сміту). Мінімальні значення показника рН фіксувалися, в основному, під час проходження сильних злив і коливалися в межах 4,05-4,61 од. Максимальна кількість кислих опадів, близько 557,4 мм (49,7% від річної кількості), випала за осінній та літній сезони. Лише у листопаді їх кількість становила 204,0 мм або 92,2% від місячної кількості. Випадання "лужного" дощу на метеопосту "Підділ" (РН=7,40-7,43 од.) зафіксовано у другій та третій декадах квітня та перших числах травня, що, очевидно, пов'язано із піщаними бурями в той період, про які повідомлялося у пресі. В той період переважаючими були південно-східні вітри. Також невелика кількість слаболужних опадів (РН=7,10 од.) випала з 8 по 12 листопада. Середні значення РН за осінній, літній та зимовий сезони були менше рівноважного (5,6) і становили відповідно: 5,01;

5,20 та 5,28 одиниць рН (табл. 2). За 2015-й рік випало 645,1 мм кислих опадів або 57,6% від річної кількості. Середньорічне значення рН у 2015 році становило 5,49 од.

Загальна мінералізація змінювалась в межах 14,9-86,2 мг/дм³. Максимальне значення було визначено у середній пробі опадів відібраних у квітні, за рахунок значного вмісту гідрокарбонатів – 50,8 мг/дм³ та натрію – 20,7 мг/дм³. Також у цій пробі було визначено магній у невеликій кількості, хоча, зазвичай, у наших атмосферних опадах він відсутній.

Підвищився, в порівнянні з минулими роками, вміст гідрокарбонатів (за середньорічними показниками), який за даними попередніх досліджень (Піпаш, Папарига, 2016) з 2010 по 2013 рр. становив не більше 6,0 мг/дм³, у 2014 р – 11,7 мг/дм³, а у 2015 р. вже досягнув 13,1 мг/дм³.

В основному, опади за хімічним складом відповідали гідрокарбонатно-натрієвому типу, крім середньомісячних проб дощу за жовтень та листопад, де вода відповідала сульфатно-натрієвому типу (переважаючий аніон – SO_4^{2-} , переважаючий катіон – Na^+). Відповідно й значення показника рН у даних випадках були досить низькими і становило 4,90 – 4,94 од.

Мінімальне середньомісячне значення показника рН було визначено у середній пробі дощу за серпень – 4,73 од. Тоді ж кількість сульфатів становила 16,2% екв., гідрокарбонатів – 27,1% екв, хлоридів – 6,7% екв. За своїм складом опади відповідали гідрокарбонатно-натрієвому типу.

У 2016 році у половині із 42-х відібраних та проаналізованих проб атмосферних опадів у показник рН був менше рівноважного значення. Найбільша кількість кислих опадів випала за зимовий та осінній сезони – 373 мм або 37,4% від річної кількості, що й призвело до зниження показника рН за вищезгадані періоди нижче рівноважного 5,6 од. (по Сміту) і становила відповідно – 5,05 та 5,23 од. Мінімальні значення показника РН були зафіксовані при південно-східних вітрах, здебільшого, під час проходження зливових дощів, а саме: 4,16 од. – остання декада



вересня та перша декада жовтня; 4,51 од. (9-15 листопада), 4,62 од. (1-2 грудня 2015 р.), 4,67 од. (26-28 січня), 4,72 од. (17-23 лютого). Випадання "слаболужного" дощу на метеопосту "Підділ" (РН=7,26 од) відмічено у другій декаді червня при переважаючому східному вітрі. За 2016-й рік випало 611,7 мм кислих опадів або 61,3% від річної кількості, а середньорічне значення рН становило 5,42. Загальна мінералізація змінювалась в межах 12,7-24,9 мг/дм³. Максимальний вміст гідрокарбонатів у 2016 році не перевищував 10,2 мг/дм³. У порівнянні з двома останніми роками, зменшився їх вміст (за середньорічними показниками) до 6,7 мг/дм³. В основному, опади за хімічним складом відповідали гідрокарбонатно-натрієвому типу, крім середньомісячної проби дощу за березень, де вода відповідала хлоридно-натрієвому типу (переважаючий аніон – Cl⁻, переважаючий катіон – Na⁺). Вміст хлоридів у даному випадку становив 7,2 мг/дм³, або 27,4% екв. Мінімальні значення показника рН були визначені у середньомісячних пробах опадів за вересень, серпень, грудень, січень і перебували в межах 4,60 – 4,90 од. У даному випадку підкислення опадів відбувалося за рахунок гідрокарбонатів. Магній був відсутній у всіх пробах.

У 20-ти із 47 відібраних за 2017-й рік пробах атмосферних опадів показник рН був < 5,6 (табл. 1). Середні значення показника рН за місяць, сезон та рік виводилося в залежності від кількості відборів та кількості опадів пропорційно і змінювалися по сезонах від 4,91 – сезон осені до 6,18 – сезон весни (табл. 2). Найбільша кількість кислих опадів – 748,4 мм або 49% від їх річної кількості, випала за зимовий та осінній сезони, що призвело до зниження середніх показників рН за вищезгадані періоди нижче рівноважного відповідно до 5,21 та 4,91 од. За даними (Літопис природи, 2018) мінімальні значення показника рН були зафіксовані для опадів у вигляді дощу, а саме: 4,10 од. – (9-14 листопада) при північно-східному вітрі та 4,11 – (02-05 лютого під час зливових дощів) при південно-східному вітрі.

Випадання "слаболужного" дощу на метеопосту "Підділ" відмічено: з 6 по 8 серпня – 7,84 од. (переважаючий пн.зах вітер); з 19 по 30 червня (вітер пд. та пд.зах.); на початку та кінці квітня – 7,05-7,18 од (переважаючий пд.сх вітер). Загалом за 2017-й рік біля 48% або 731,4 мм опадів від річної кількості були кислими. Середньорічне значення рН становило 5,77 і є найвищим за весь період спостережень (табл. 1), що можна пояснити випаданням більшої кількості лужних опадів за весняний та літній сезони в порівнянні з попередніми роками (табл. 2). Загальна мінералізація змінювалась в межах 10,5-24,0 мг/дм³. Максимальний вміст гідрокарбонатів не перевищував 12,7 мг/дм³. За середньорічним показником кількість їх становила 7,2 мг/дм³ і майже співпадала з середнім багаторічним значенням за десять останніх років – 7,1 мг/дм³. (Піпаш, Папарига, 2016). В основному, опади за хімічним складом відповідали гідрокарбонатно-натрієвому типу, крім середньомісячної проби дощу за лютий, де вода відповідала сульфатно-натрієвому типу. У квітні спостерігалось підвищення середньомісячного рН до 7,03, а тип води за переважаючим іоном був визначений як гідрокарбонатно-кальцієвий. Мінімальні значення показника рН були визначені у середньомісячних пробах опадів за листопад, жовтень, лютий, січень і перебували в межах 4,34-4,90 (Літопис природи КБЗ, 2018). За результатами аналізу видно, що таке підкислення опадів відбувалося, в основному, за рахунок гідрокарбонатів. Магній був відсутній у всіх пробах.

У 2018 році на території дослідження у 34-х пробах атмосферних опадів із 55 показників рН був менше рівноважного значення. Найбільша кількість кислих опадів – 399 мм або 50% від їх річної кількості, випала за період від грудня 2017 р. по березень 2018 р. у вигляді дощу та снігу. Тоді ж були зафіксовані і найнижчі за рік середньомісячні значення показника рН – 4,23-4,86 од. Мінімальні значення даного показника були відмічені для опадів у вигляді дощу, а саме: 4,03 од. – (28-31 січня) та 4,18 од. (01-08 грудня) при пере-

важаючому південно-східному вітрі (Літопис природи КБЗ, 2019 р.). Максимальні значення, хоча менше рівноважного у всіх випадках, відмічені за осінній та літній сезони (табл. 2), тобто за цей період випадало найменше кислих опадів. Середні значення показника рН по сезонах змінювались від 4,36 (зима) до 5,57 (осінь). Мінімальний середньомісячний показник рН – 4,23 визначений у грудні 2017 року. Середньорічне значення рН за 2018 рік становило 5,18 од. і є найнижчим за весь 5-ти річний період спостережень (табл. 1). Біля 69% або 792 мм опадів від річної кількості були кислими. Випадання "лужного" дощу на метеопосту "Підділ" не зафіксовано. Загальна мінералізація змінювалась в межах 12-39,2 мг/дм³.

За середньорічним показником кількість гідрокарбонатів становила 9,0 мг/дм³ (табл. 3) і є вищою за багаторічні середні дані за 10 останніх років – 7,1 мг/дм³. Максимальний вміст їх визначений у пробах дощу за серпень, жовтень і листопад і не перевищував 22,0 мг/дм³ (Літопис природи КБЗ, 2019).

В основному, опади за хімічним складом відповідали гідрокарбонатно-натрієвому типу, крім середньомісячних проб опадів у вигляді дощу та снігу за зимові місяці (грудень – лютий), де вода відповідала сульфатно-натрієвому типу (переважаючий аніон – SO₄⁻, переважаючий катіон – Na⁺). Вміст сульфатів у даному випадку становив 5,3-5,9 мг/дм³, або біля 21,0% екв., що й привело до закислення опадів у даний період при їх низькій мінералізації (19,2-22,0 мг/дм³). Магній відсутній у всіх пробах. Вміст нітратів не перевищував 0,3 мг/дм³ у грудні 2017 року, а у решті випадків протягом 2018 природного року визначались тільки їх "сліди".

У 2019 природному році найбільша кількість кислих опадів – 287,2 мм або 46% від їх річної кількості випала за зимовий період у вигляді дощу та снігу. Тоді ж були зафіксовані і найнижчі за рік середньомісячні значення показника рН – 4,25 од. (табл. 1). Мінімальні значення – зафіксовані для опадів у вигляді дощу, а саме: 4,25 од. – (28-31 січня), 4,32 (9-10 грудня 2018 р.) та 4,52 од. (01-05 листопа-

да), в основному, при переважаючому південно-східному, зрідка при південно-західному вітрах (Літопис природи КБЗ, 2020).

Випадання "слаболужного" дощу на метеопосту "Підділ" (рН=7,34) відмічено у другій декаді липня при переважаючому південно-східному вітрі. Із 47 відборів проб атмосферних опадів проведених за рік, у 23-х – показник рН був < 5,6. Тобто біля 53% опадів (625 мм), які випадали за цей період, були кислими. Середньорічне значення рН за 2019 рік становило 5,60 од. Середні значення рН за зимовий, весняний та осінній сезони становили відповідно 5,18, 5,54 та 5,32 (табл. 2), що є менше за рівноважне значення.

Отже, за результатами отриманих та опрацьованих даних досліджень, за останніх п'ять років, середній п'ятирічний показник рН складав 5,52, а середньорічні значення водневого показника за цей період змінювались від 5,18 до 5,77 (табл. 1). Найнижче середньорічні значення рН=5,18 було визначено у 2018 році, коли 69% або 792 мм опадів від річної кількості були кислими. Найнижчі значення показника рН характерні, переважно, для осіннього та зимового, а у 2018 р. – для зимового та весняного сезонів, коли випала найбільша кількість кислих опадів. За сезон зими 2018 року також визначено найнижчий середній показник рН – 4,36 за весь період досліджень (табл. 2), а середні значення рН за період осені та зими (рис. 1-4) за весь п'ятирічний період були нижчі рівноважного значення (рН менше 5,6 од.), тобто атмосферні опади були кислими. Враховуючи наявність у осінньо-зимовий період переважаючих південно-західних вітрів у цьому регіоні, можна робити певні попередні припущення про наявність відповідних транскордонних перенесень забруднюючих речовин на досліджувані території.

У більшості випадків (рис. 2-3) за весняний та літній сезони усіх п'яти років дослідження при домінуючих північно-східних вітрах переважають показники рН більше рівноважного (рН > 5,6) з максимальними значеннями рН=6,17 за сезон літа 2019 року. Тобто, в даний період випало найменше кислих опадів.

Таблиця 1. Динаміка показника рН атмосферних опадів за 2015-2019 рр.

Рік	Кількість відборів	Кількість опадів, мм	рН			% опадів з рН < 5.6
			сер.	min	max	
2015	36	1120,5	5,49	4,05	7,43	57,6
2016	42	998,3	5,42	4,16	7,26	61,3
2017	47	1527,7	5,77	4,10	7,84	47,9
2018	55	1141,5	5,18	4,03	6,60	69,4
2019	47	1186,7	5,60	4,25	7,34	52,7

Таблиця 2. Динаміка показника рН атмосферних опадів по сезонах за 2015-2019 рр.

роки/сезони	2015	2016	2017	2018	2019	Середні за 5 років
Зима	5,28	5,05	5,21	4,36	5,18	5,02
Весна	6,32	5,74	6,18	5,34	5,54	5,82
Літо	5,20	5,70	6,07	5,44	6,17	5,72
Осінь	5,01	5,23	4,91	5,57	5,32	5,21

Таблиця 3. Динаміка хімічного складу атмосферних опадів за 2015-2019 р. *

Рік	головні іони, мг/дм ³						заг.мін, мг/дм ³
	НСО ₃ ⁻	Сl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
2015	<u>5,1-50,8</u> 13,1	<u>1,5-4,9</u> 2,7	<u>1,8-7,0</u> 4,5	<u>1,0-4,0</u> 2,1	<u>0-0,9</u> 0,08	<u>2,2-20,7</u> 6,8	<u>14,9-86,2</u> 29,2
2016	<u>4,4-10,2</u> 6,7	<u>1,3-7,2</u> 2,6	<u>0,9-4,2</u> 2,0	<u>0,8-3,8</u> 1,8	відс.	<u>2,5-4,8</u> 3,4	<u>12,4-24,9</u> 16,6
2017	<u>3,2-12,7</u> 7,2	<u>1,1-2,9</u> 1,9	<u>0,3-3,6</u> 2,0	<u>0,4-4,0</u> 1,9	відс.	<u>0,7-6,4</u> 3,0	<u>10,5-24,0</u> 15,9
2018	<u>4,4-22,0</u> 9,0	<u>1,3-2,4</u> 1,8	<u>1,6-5,9</u> 3,2	<u>0,8-4,0</u> 1,9	відс.	<u>2,5-7,4</u> 4,1	<u>29,4-39,2</u> 20,1
2019	<u>6,3-16,5</u> 9,1	<u>1,1-2,5</u> 1,6	<u>1,0-5,8</u> 2,4	<u>1,2-2,4</u> 2,0	відс.	<u>2,8-5,6</u> 3,8	<u>13,2-27,6</u> 18,6
Середні дані за 5 років	9,0	2,1	2,8	1,9	-	4,2	20,1

* – в чисельнику наведені мінімальні та максимальні значення, в знаменнику – середні.

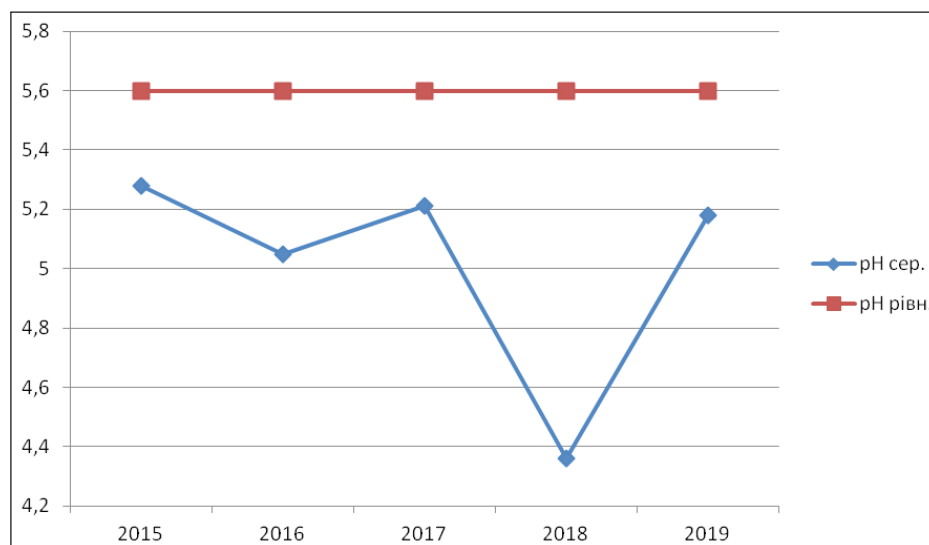


Рис. 1. Багаторічна динаміка середніх значень показника рН опадів за зимовий сезон

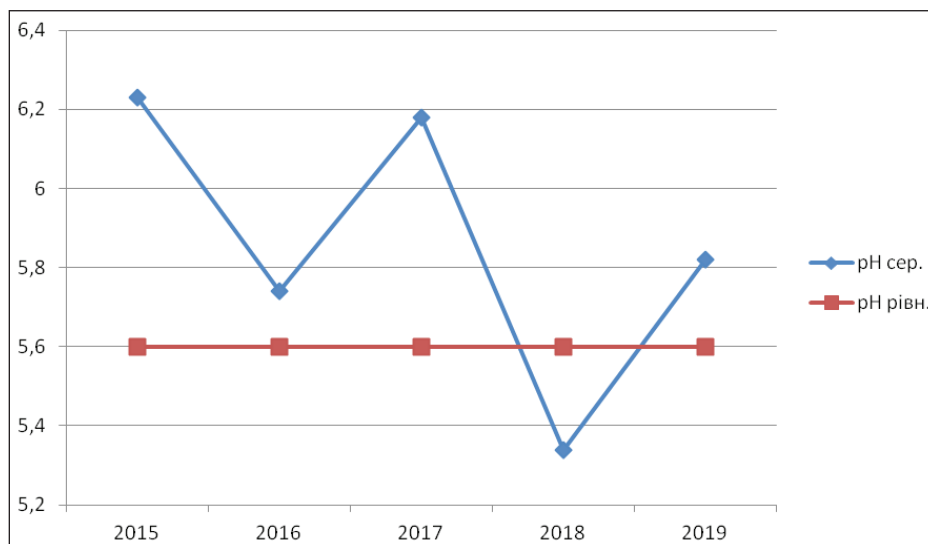


Рис. 2. Багаторічна динаміка середніх значень показника рН опадів за весняний сезон

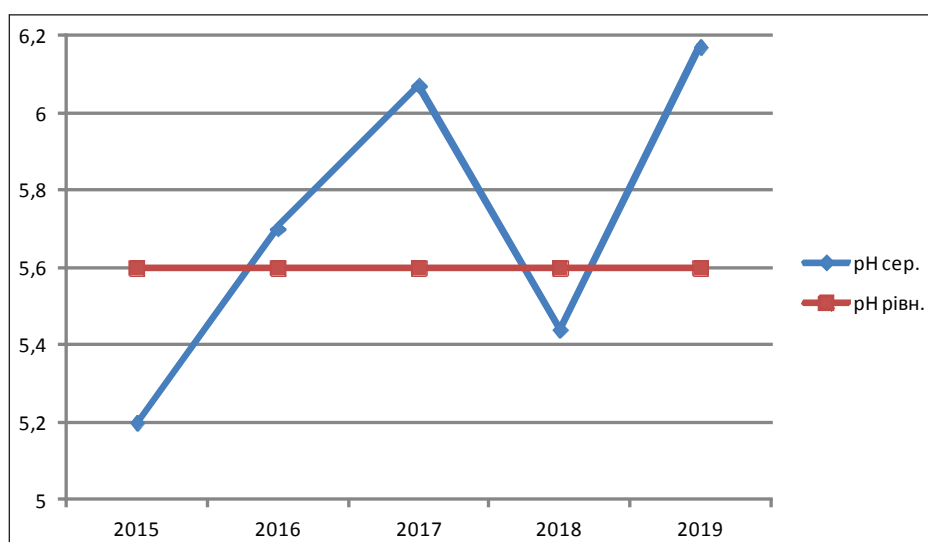


Рис. 3. Багаторічна динаміка середніх значень показника рН опадів за літній сезон

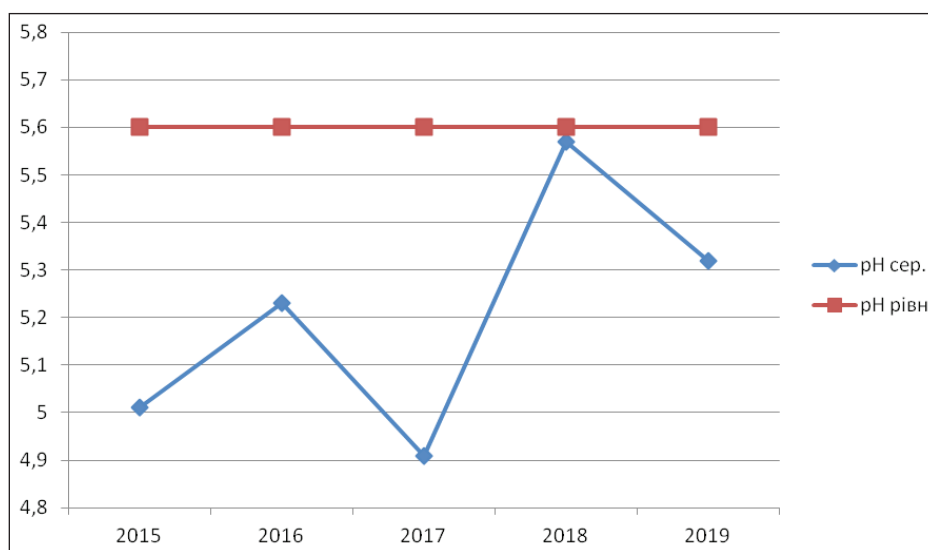


Рис. 4. Багаторічна динаміка середніх значень показника рН опадів за осінній сезон

Висновки

Загалом місто Рахів та його околиці у радіусі перших десятків кілометрів характеризується незначним техногенним навантаженням, оскільки значна частина території району є заповідною, а усі великі промислові підприємства зупинили свою діяльність ще у середині дев'яностих років минулого століття. Джерелами відхилень показника рН та сольового складу атмосферних опадів від норми можуть бути як природні так і антропогенні фактори, хоча останні відчутно переважають. Як показують дослідження (Гопченко, Шакірзанова, 2005), основними джерелами утворення аерозолів у атмосфері є еолова ерозія, продукти вулканічних вивержень, та господарська діяльність людини, яка пов'язана з газопиловими викидами від роботи енергомістких галузей промисловості. Оскільки досліджувана територія заповідна, то небезпечні аерозолі-поллютанти у атмосфері над нею практично не мають здатності утворюватись, тобто більшість з них привносять переважні на цій території південно-західні та північно-східні повітряні маси.

За результатами досліджень виявлена певна тенденція: за осінні і зимові сезони при переважаючих південно-західних вітрах

атмосферні опади були кислими за весь досліджуваний період. Водночас при переважаючих північно-східних вітрах у весняно-літні сезони за останній п'ятирічний період досліджень у переважній більшості водневий показник у атмосферних опадах перевищував рівноважні значення ($\text{pH} > 5,6$ по Сміту), тобто опади були незабрудненими.

Отже, на нашу думку, головний внесок у забруднення атмосферних опадів досліджуваної території забезпечують європейські транскордонні перенесення. На жаль, відсутність режимних спостережень за гідрохімічним складом атмосферних опадів на прилеглих до КБЗ територіях не дає змоги визначити "адреси" конкретних забруднювачів. Оскільки територія дослідження є досить локальною, то у подальшому можна рекомендувати розширити сітку спостережень моніторингу атмосферних опадів. Це допоможе вивчити динаміку накопичення поллютантів у екосистемах Карпат і, на основі отриманих багаторічних даних, встановити "адресу" об'єктів-забруднювачів у залежності від напрямку руху атмосферних течій. Водночас, гідрохімічні дослідження забезпечать отримання об'єктивних даних, накопичення яких необхідно для виявлення довгострокових змін у заповідних екосистемах.

Гопченко Є.Д. Гідрохімія України / Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакірзанова. – Одеса: "Екологія", 2005. – 89 с.

Жовинський Е.Я. Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника / Е.Я. Жовинський, Н.О. Крюченко, П.С. Папарига. – К.: ТОВ "НВП "Інтерсервіс", 2012. – 100 с.

Літописи природи Карпатського біосферного заповідника, – Рахів, 2009–2019 рр.

Піпаш Л.І. Моніторинг гідрохімічного складу атмосферних опадів у Карпатському біосферному заповіднику / Л.І. Піпаш, П.С. Папарига // Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України, 2016. – № 1. – С. 95–100.

Щербатюк Л.К. Методические рекомендации по сбору и анализу атмосферных осадков для контроля состояния окружающей среды / Л.К. Щербатюк. – Гос. Никитский бот. сад: Ялта, 1985. – С. 23.