

Студентська наукова робота

на тему:

**«Оцінка якості питної води різного природного походження за
вмістом важких металів та неорганічних речовин з
використанням інверсійної хронопотенціометрії»**

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми дослідження.

Вода – важливий складовий компонент життєдіяльності людини. Вода – це безцінний скарб. Без неї ми не спроможні прожити. Її нічим не замінити. До того ж водні ресурси вкрай вразливі: діяльність людини згубно позначається на кількості та якості прісної води. Згідно з міжнародними стандартами Україна належить до маловодних країн (менше 1,1 тис. м³/рік людина) та з нерівномірним територіальним розподілом водних ресурсів. Кризовий стан водокористування, катастрофічний екологічний стан водних ресурсів посилюється наявністю в Україні надзвичайно високих водоємних виробництв та технологій, які потребують води у 2–6 разів більше, ніж технології розвинених країн Європи та Америки.

Організм дорослої людини приблизно на 75% складається із води. Для підтримки життєдіяльності потрібно близько 2,5-3,0 л якісної чистої води на добу. Наявність у воді неорганічних речовин (важких металів (ВМ), нітратів, солей жорсткості) та різних органічних сполук призводить до розвитку 80% екологозалежних захворювань (онкологія, порушення репродуктивної функції, генетичні, ендемічні зміни тощо). Витрати, пов'язані із захворюваннями, спричиненими неякісною водою, у багато разів перевищують затрати на моніторинг якості та очистку питної води. Чиста вода є частиною системи екологічної безпеки держави. Тому гостро постають питання якості і стану природних поверхневих, ґрунтових та артезіанських вод. То яку ж сьогодні можна пити воду?

Особистий внесок: самостійно проаналізовано джерела наукової літератури, виконано основний обсяг експериментальної роботи (відбір зразків проб, підготовка проб, проведення електрохімічного та хімічного вимірювань), розраховано ІЗВ, побудовано графіки та діаграми. Постановка мети і завдань дослідження, узагальнення отриманих результатів роботи, обговорення висновків проведено спільно з науковим керівником. Результати дослідження

обговорювались на LIX Міжнародній інтернет-конференції «Актуальні проблеми сучасної науки» (м. Дніпро)

Мета роботи: провести дослідження якості поверхневих вод (р. Тиса та р. Ріка), ґрунтових вод (природні джерела м. Києва) та артезіанських вод (бювети м. Києва), які застосовуються для питних цілей із використанням приладу - Аналізатор «М-ХА-1000-5», принцип роботи якого заснований на сучасному електрохімічному методі інверсійної хронопотенціометрії (метод ІХП) із застосуванням Інтернет-технологій. Визначити стан забруднення вод нітратами, наявність загального заліза, твердість води за допомогою фізико-хімічного методу фотоколориметрії та хімічних методів.

Завдання: 1) розглянути теоретичні основи та принципи методу ІХП (електричну схему метода, основи електрохімічних процесів електролізу та ін.); 2) освоїти методику відбору та підготовки проб води до вимірювань методом ІХП; методики вимірювань вмісту нітратів, загального заліза, кальцію, магнію, рН води; 3) провести аналіз питних вод поверхневого, ґрунтового та артезіанського походження; 4) Дати оцінку якості питної води у порівнянні із ГДК згідно ДСТУ 7525:2014 5) Розрахувати індекс забруднення води та надати їй клас безпеки; 6) Визначити зміни вмісту Pb, Cu, Zn у водах р. Тиса та р. Ріка у порівнянні із попередніми дослідженнями.

Методики дослідження: Для визначення вмісту ВМ застосовано метод інверсійної хронопотенціометрії та методика електрохімічного визначення вмісту токсикантів у воді на приладі «М-ХА1000-5». Вміст нітратів, загального заліза визначено фотоелектроколориметричним методом (прилад КФК-2); сумарний вміст кальцію і магнію встановлено комплексометричним титруванням згідно ДСТУ ISO 6059; показник рН-водний визначено потенціометричним методом за ДСТУ 4077-2001 (ISO 10523:1994, MOD); хімічне споживання кисню розраховано за редоксметричним титруванням згідно ГОСТ 23268.12; сухий залишок встановлено методом випаровування згідно ГОСТ 18164. Оцінку якості питної води природних джерел та бюветів здійснено відповідно до ДСТУ 7525:2014. Виконано статистичну обробку даних для

встановлення похибки експериментів. Розраховано індекс забруднення води. Математичну обробку здійснено за допомогою Microsoft Excel.

Об'єкт дослідження: поверхнева вода (р. Тиса та р. Ріка), ґрунтові води (природні джерела м. Києва) та артезіанська вода (бювети м. Києва), які використовуються як питна вода.

Предмет дослідження: важкі метали Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, Mn, Fe як токсиканти, Ca, Mg як фізіологічні показники, аніони NO_3^- , окислюваність перманганатна, жорсткість, сухий залишок, рН у водних об'єктах різного природного походження та оцінка якості питної води за допомогою індексу забруднення води.

Наукова новизна: За період 2020 р. поквартально досліджено та надано оцінку рівня забруднення поверхневих вод на вміст важких металів р. Тиса та р. Ріка (м.Хуст, Закарпаття). Встановлено, що у порівнянні з попередніми дослідженнями вміст важких металів у воді р. Тиса зріс: Pb(II) – у 3 рази, Cu(II) – у 2 рази, Zn(II) – у 1,5 рази; у воді р. Ріка вміст Cu(II) та Zn(II) зріс у 3 рази, вміст Pb(II) залишився на рівні 2009 р.

За період 2019 – 2020 рр. поквартально досліджено ґрунтові води (природні джерела м. Києва) та артезіанські води (бювети м. Києва). Вміст хімічних речовин у артезіанській воді мало змінювався впродовж періоду дослідження і за результатами досліджень встановлено, що артезіанська вода за фізіологічними показниками оптимально відповідає нормативу якості води згідно ДСТУ 7525:2014. За результатами досліджень якості води природних джерел м. Києва у джерелах св. Пантелеймона, «Сльоза Богородиці» (Феофанія), св. Антонія (Києво-Печерська Лавра), Фролівського монастиря, на вул. Кайсарова, вул. Сальського, вул. Сирецькій, у парках «Солом'янський», «Нивки», «Дубки», на 1-ій, 4-ій, 14-ій лініях Пущі-Водиці встановлено перевищення вмісту марганцю, хрому, нітратів, заліза, сухого залишку, солей жорсткості, що негативно впливає та завдає шкоду здоров'ю людини. Таку воду пити небезпечно!

Загальна характеристика роботи. Робота складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та п'яти додатків. У першому розділі наведено огляд літератури, акцентовано увагу на проблемі забруднення води та її наслідках для здоров'я людини, проаналізовано особливості методу інверсійної хронопотенціометрії. У другому розділі описано об'єкти дослідження та використаний електрохімічний метод інверсійної хронопотенціометрії. У третьому розділі викладені результати проведеного експерименту. Текст дослідження викладено на 57 сторінках. В роботі налічується 11 рисунків, 3 таблиці, 8 додатків. Список використаної літератури включає 41 джерелі.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1. Огляд літератури	8
1.1 Проблема якості питної води.....	8
1.2 Вплив хімічних компонентів води на здоров'я людини.....	9
1.3 Загальна характеристика методу інверсійної хронопотенціометрії	10
Розділ 2. Об'єкти та методи дослідження	12
2.1 Об'єкти дослідження	12
2.1.1 Загальна характеристика річок Тиса та Ріка	12
2.1.2 Загальна характеристика та типи підземних вод.....	13
2.2 Вимірювання важких металів методом інверсійної хронопотенціометрії	16
2.3 Оцінка якості води за індексом забруднення води.....	17
Розділ 3. Результати та обговорення.....	19
3.1 Аналіз води р. Тиса та р. Ріка	19
3.2 Аналіз води природних джерел у м. Київ.....	23
3.3 Аналіз бюветної води м. Київ	26
Висновки	30
Список використаної літератури.....	31
Додатки.....	36

ВСТУП

В Україні вже давно назріває проблема якості питної води, оскільки за запасами доступних до використання водних ресурсів країна належить до малозабезпечених, а за кількістю питної води на душу населення посідає 125 місце із 180 країн.

Якість питної води безпосередньо впливає на здоров'я населення та рівень екологічного і економічного благополуччя. Контроль води і забезпечення нормативів згідно із санітарними вимогами можна розглядати як один із напрямків управління екологічною безпекою держави.

Однією із причин незадовільної якості питної води є забруднення поверхневих водойм – основних джерел питного водопостачання у зв'язку із потраплянням до них у великих кількостях неочищених та недостатньо очищених промислових, побутових, стічних та сільськогосподарських вод, талих вод з полів, територій сіл і міст. На сьогодні міське водопостачання забезпечується в Україні за рахунок підземних вод лише на 25%.

Порушення режиму підземних вод унаслідок довготривалої експлуатації артезіанських свердловин, забруднення ґрунтових вод, погіршення санітарно-технічного стану розподільних водопровідних мереж сприяє забрудненню питної води.

Оцінка стану водних ресурсів поверхневих і підземних вод в умовах постійного техногенного навантаження та діючих джерел забруднення їх важкими металами – проблема надзвичайно складна і актуальна сьогодні.

З точки зору того, що вода природних джерел є електролітом, для визначення її якості найбільш перспективне використання електрохімічних методів аналізу, оскільки вони характеризуються високою чутливістю, вибірковістю та нескладністю аналізу. До сучасних електрохімічних методів відноситься метод інверсійної хронопотенціометрії, який широко використовується в практиці лабораторних вимірювань в Україні.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Проблема якості питної води

Діяльність людини щодо використання водних ресурсів неминуче призводить як до позитивних так і негативних наслідків. Одним із проявів негативного впливу людини на водні ресурси є їх забруднення, засмічення та виснаження [1]. Основними шляхами, якими хімічні сполуки потрапляють до природних вод є:

- Скидання неочищених і недостатньо очищених комунально-побутових і промислових стічних вод у водні об'єкти
- Надходження у водні об'єкти забруднюючих речовин у процесі поверхневого стоку води від забудованих територій і сільгоспугідь
- Ерозія ґрунтів на водозабірній площі [2]

Серед джерел забруднення водних ресурсів на першому місці за кількістю та масштабами впливу знаходяться стічні води, тобто води, які використані на виробничі чи побутові потреби, одержали при цьому додаткові домішки, що змінили їх первісний хімічний склад або фізичні властивості та підлягають видаленню з населених пунктів або промислових підприємств. Внаслідок промислового, сільськогосподарського і побутового забруднення у воду потрапляють важкі метали (свинець, мідь, цинк, кадмій, ртуть, нікель, кобальт, хром, бісмут тощо) та органічні речовини (пестициди, гербіциди, фунгіциди) [3].

Доступ до безпечної питної води є істотним для здоров'я, базовим правом людини. Проблеми якості питної води, санітарії і гігієни для здоров'я обговорювались на багатьох міжнародних форумах. Зокрема, міжнародні Цілі сталого розвитку, прийняті в 2015 році включають як цільовий показник безпечної питної води [4].

Інвестиції у водопостачання можуть приносити чисту економічну вигоду, оскільки зменшення витрат на охорону здоров'я перевищує витрати та очистку води [2].

1.2 Вплив хімічних компонентів води на здоров'я людини

До показників, які характеризують природний хімічний склад води і зумовлюють її органолептичні властивості відносяться сухий залишок (мініралізація загальна), водневий показник (рН), жорсткість загальна, вміст сульфатів, хлоридів, а також солей заліза та марганцю.

Сухий залишок – це кількість розчинних речовин, передусім мінеральних солей, який знаходиться в 1 дм³ води. Значний вміст мінеральних солей надає воді солоного та гіркокого смаку. До того ж вода з підвищеною мініралізацією менше втамовує спрагу [5]. Встановлено, що тривале вживання високомінералізованої води сприяє розвитку сечокам'яної і жовчнокам'яної хвороб, погіршенню перебігу хронічних недугів та самопочуття [6].

Жорсткість води – природна властивість води, зумовлена наявністю так званих солей жорсткості, а саме кальцію і магнію (сульфатів, хлоридів, карбонатів та ін.). Різкий перехід від м'якої до жорсткої води може призвести до диспепсії, зумовленої наявністю у воді магній сульфату. Користування водою із високою жорсткістю призводить до сечокам'яної хвороби [7]. Надто м'яка вода може негативно впливати на організм унаслідок зменшення надходжень передусім кальцію, сприяє розвитку серцево-судинних та інших захворювань. Таким чином, оптимальною є вода середньої жорсткості, тобто в межах 3,5–7,0 мг-екв/дм³ [8].

Залізо, у вигляді Fe(OH)₃, погано розчинюється у воді і утворює бурі пластівці, що зумовлює кольоровість і каламутність води, металевий присмак. В разі тривалого вживання води, забрудненої залізом, його надлишок накопичується в печінці, нирках, а також викликає алергічні реакції, хвороби крові та системи кровообігу, гастрити, виразки шлунку [9].

Нітрати, окислюючи Fe(II) гемоглобін у крові до Fe(III), викликають метгемоглобінемію, внаслідок якої порушується перенесення кисню в організмі. Особливу групу ризику становлять діти та люди похилого віку. Оскільки нітрати в шлунку переходять у нітросоаміни, при концентраціях 90 мг/дм³ і більше вони викликають рак [10].

Внаслідок дії кадмію виникає хвороба «ітай-ітай», яка проявляється в розм'якшенні кісток, кальцифікації та пієлонефриті нирок. Оскільки кадмій має кумулятивну, канцерогенну дію і тривалий період напіввиведення (10-30 рр.), вживання забрудненої води та продуктів протягом тривалого часу призводить до захворювань і різних форм кадмієвої інтоксикації [11].

Мідь відносять до групи високотоксичних металів: має нейротоксичну, гемотоксичну, гепатотоксичну та нефротоксичну дію. [12].

Свинець вражає нервову систему, кістковий мозок і кров, судини, генетичний апарат клітини, впливає на синтез білка і проявляє гонадотоксичну і ембріотоксичну дію, викликає онкологічні захворювання. На цій основі Міжнародна асоціація вивчення раку віднесла свинець і його неорганічні сполуки до класу канцерогенів для людини [13].

1.3 Загальна характеристика методу інверсійної хронопотенціометрії

Найбільш перспективними для екотоксикологічних досліджень та контролю вмісту важких металів у водних об'єктах є метод інверсійної хронопотенціометрії [14].

Хронопотенціометрія – електрохімічний вимірювальний метод, в якому хід реакції контролюється за допомогою концентраційно поляризованого електрода в парі з відповідним електродом порівняння, які приєднані до джерела постійного струму, з реєстрацією часу, потрібного для переходу потенціалу від заздалегідь заданого значення до іншого вищого [15][13]. Розрізняють пряму та інверсійну хронопотенціометрію. Інверсійна хронопотенціометрія (ІХП) є більш сучасним і перспективним методом [16].

Сутність методу ІХП полягає в електрохімічному концентруванні на індикаторному електроді елементів, що містяться в розчині, і наступному електророзчиненні їх у вольтамперостатичному режимі при заданому опорі ланцюга, що регулює швидкість процесу [17]. У загальному вигляді процес електрохімічної інверсії описано схемою:



де φ_i , φ_k – потенціал інверсії і потенціал концентрування, відповідно;

R – опір в ланцюгу окислення;

Me^{n+} – іони металу у розчині;

ne – кількість електронів;

Me – відновлений елементний стан металу на електроді [18].

На основі аналізу теорії Нернста отримано критеріальне рівняння інверсійної хронопотенціометрії:

$$\tau_i = \frac{nFDSRC_{Me^{n+}}}{\varphi_i \delta} t_k, \quad (2)$$

де τ_i – тривалість інверсії; n – валентність металу; F – число Фарадея; D – коефіцієнт дифузії іонів металу Me^{n+} у розчині; S – поверхня індикаторного електроду; R – опір; $C_{Me^{n+}}$ – концентрація іонів металу у розчині; φ_i – заданий потенціал інверсії; δ – товщина подвійного електричного шару; t_k – час концентрування [19].

До переваг методу ІХП слід віднести можливість реалізації його в системах автоматичного контролю з використанням сучасної комп'ютерної техніки та Інтернет технологій, що дозволяє створити на базі аналізатора «М-ХА1000-5» систему моніторингу ВМ у водних об'єктах [2, 3]. Метод ІХП має високу чутливість, точність та селективність вимірювань вмісту токсикантів, а також, повторюваність результатів аналізу та високі метрологічні показники, низьку собівартість аналізу, застосовуються недорогі і поширені хімічні реактиви [20]. Перевагами методу є простота апаратного забезпечення, мобільність обладнання, легкість автоматизації, універсальність (на сьогоднішній день можливо аналізувати 20 елементів і хімічних сполук) [21].

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти дослідження

2.1.1 Загальна характеристика річок Тиса та Ріка

Річка Тиса бере початок неподалік м. Рахова Закарпатської області, утворюється злиттям Чорної Тиси та Білої Тиси. Річка протікає по території України, Угорщини, Сербії, частково по кордону між Україною та Румунією і Угорщиною, а також по кордону між Словаччиною та Угорщиною (додаток А).

Живлення річки снігове і дощове з частими високими паводками на весні. У верхів'ї Тиса протікає через великий промисловий регіон видобутку кольорових металів з центром у м. Бая-Маре, Румунія, де також знаходиться завод кольорової металургії (свинець, мідь, золото) та інші гірничі і хімічні підприємства.

Води Тиси використовуються населенням Закарпатської області для питних потреб, рибництва. Даний регіон є відомим рекреаційним центром. Оскільки існує велика небезпека забруднення річки важкими металами, моніторинг безпечності річкової води є необхідним.

Річка Ріка, яка є правою притокою Тиси, бере початок з джерел на південно-західних схилах Верховинського хребта. Має гірський характер вздовж всього русла. Живлення річки мішане. На річці діє Теребле-Ріцька гідроелектростанція. Води Ріки використовують для водопостачання [22].

Проби води річок Тиса та Ріка в точці контролю води (додаток Б) відібрано посезонно протягом 2020 р. згідно ГОСТ 17.1.5.05 [23]. Проби поверхневої води відбирали на струмені потоку на глибині 0,2–0,5 м від поверхні. У водах річок Тиса та Ріка визначали вміст купруму, плюмбуму та цинку методом інверсійної хронопотенціометрії.

Оцінку якості води здійснено базуючись на гранично допустимих концентраціях з точки зору використання для питних цілей і як поверхневих вод [24, 25].

2.1.2 Загальна характеристика та типи підземних вод

Підземні води – це природні води, що знаходяться в земній товщі нижче поверхні землі і являють собою сукупність усіх типів вод різного фазового стану, що розподілені у гірських породах, заповнюючи їх пори, тріщини та порожнини.

Серед підземних вод прісні складають близько 2% і є частиною таких основних типів вод, як ґрунтові та артезіанські (рис. 2.1)

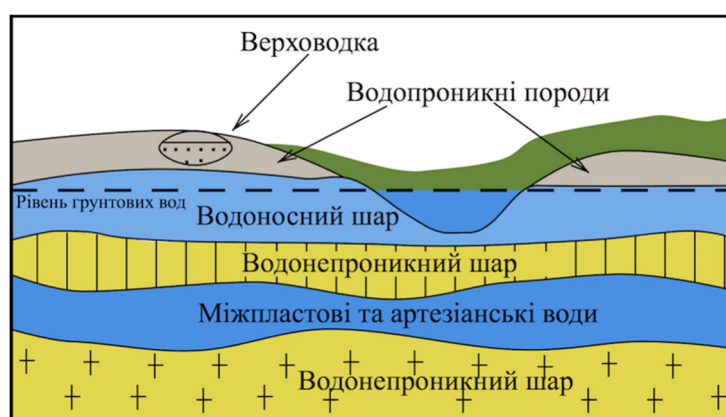


Рис. 2.1 Типи підземних вод

Ґрунтові води – це води першого від денної поверхні землі водоносного горизонту, що підпирається шаром витриманого водоупору. Зверху такий горизонт не перекритий водотривкою породою і води мають вільну поверхню. Ґрунтові води характеризуються відсутністю напору, тобто рівень води свердловин, що пробурені до цього горизонту, встановлюється на тій глибині, де ці води зустрічаються.

Підземні ґрунтові води живлять природні джерела та ключі, колодязі, неглибокі свердловини. Область живлення ґрунтових вод співпадає з областю їхнього розповсюдження, тому вони знаходяться під впливом місцевих факторів. У зв'язку з тим, що ґрунтові води знаходяться близько від поверхні землі, вони можуть легко забруднюватися [26].

Для дослідження проби води 16 джерел (табл. 2.1, додаток В) відібрано посезонно протягом 2020 р. згідно ГОСТ 24481-80 [27].

Таблиця 2.1

Географічне розташування джерел, їх адреси

№	Мікрорайон	Назва, розташування
1.	Феофанія	Джерело св. Пантелеймона
2.	Феофанія	«Сльоза Богородиці»
3.	Феофанія	Джерело св. Михайла
4.	Совки	Вул. Кайсарова
5.	Солом'янський	Парк «Солом'янський»
6.	Печерський	Києво-Печерська Лавра, джерело св. Антонія
7.	Поділ	Фролівський монастир
8.	Нивки	Парк «Нивки»
9.	Сирець	Парк «Дубки»
10.	Сирець	Вул. Сальського
11.	Сирець	Вул. Сирецька, 112
12.	Пуща-Водиця	1-ша лінія
13.	Пуща-Водиця	4-та лінія
14.	Пуща-Водиця	13-та лінія
15.	Пуща-Водиця	14-та лінія (праве)
16.	Пуща-Водиця	14-та лінія (ліве)

Прісні артезіанські води є одним із основних джерел для водопостачання, їх ознакою є наявність напору. Основним місцем знаходження водонапірних вод є артезіанські басейни, які являють собою сукупність глибинних водоносних горизонтів, які зверху та знизу захищені водотривкими породами, розташованих у великих западинах підземного рельєфу. Найбільшим артезіанським басейном на території України є Дніпровсько-Донецький, який займає частину правобережної України та майже всю лівобережну. Прісні артезіанські води в ньому поширені до глибини 200-500 м, головним чином, у відкладах, що формувалися в юрський період та сеноманський вік крейдового

періоду мезозойської ери. Сеноманський водоносний горизонт знаходиться на глибині 90-195 м, а юрський – на глибині 256-340 м [26].

Для дослідження проби води 10 бюветів (табл. 2.2, додаток Г) відібрано посезонно протягом 2019-2020 р. згідно ГОСТ 24481-80 [27].

Таблиця 2.2

Географічне розташування бюветів, їх адреси

№	Адреса	Мікрорайон	Водоносний горизонт	Рік відкриття
1.	вул. Героїв Оборони	Голосіївський	С	1999
2.	вул. Васильківська, 46	Голосіївський	С	2002
3.	вул. Героїв Війни, 16	Жуляни	Ю	2019
4.	вул. Маршала Якубовського, 8	Теремки 2	С	2000
5.	пр-т Академіка Глушкова, 39	Теремки 1	Ю-С	1998
6.	пров. Жуковського, 8/12	Голосіївський	С	2001
7.	перехрестя вул. Солом'янської і вул. Пироговського	Солом'янський	С	1998
8.	вул. Новопирогівська, 33	Корчувате	Ю-С	1999
9.	пр-т Науки, 23	Голосіївський	Ю-С	2017
10.	вул. Богомольця, 7/14	Липки	С	2002

У воді джерел та бюветів вміст важких металів (купруму, плюмбуму, цинку, нікелю, кадмію, марганцю, хрому) визначено методом інверсійної хронопотенціометрії [28-30, 31]; хімічне споживання кисню розраховано за редоксметричним титруванням згідно ГОСТ 23268.12 [32]; рН визначено потенціометричним методом за ДСТУ 4077-2001 (ISO 10523:1994, MOD) [33]; сухий залишок – методом випаровування згідно ГОСТ 18164 [34]; сумарний вміст кальцію і магнію – комплексометричним титруванням згідно ДСТУ ISO 6059 [35]; вміст нітратів, загального заліза – фотоелектроколориметричним методом (прилад КФК-2). Оцінку якості питної води природних джерел та бюветів здійснено відповідно до ДСТУ 7525:2014 [24].

2.2 Вимірювання важких металів методом інверсійної хронопотенціометрії

Підготовку лабораторного посуду здійснювали обробкою хромовою сумішшю і концентрованою нітратною кислотою з наступним промиванням дистиллятом і бідистиллятом і висушуванням. Пробу води для аналізу (0,1 дм³) переносили в конічну колбу об'ємом 250 см³ і випарювали до 2-3 см³. Додавали 1-3 см³ конц. HNO₃, 1 – 3 см³ 33% H₂O₂ і залишали на одну годину для окиснення органічних речовин, які заважають визначенню. Потім випарювали на водяній бані до стану вологих солей. Залишок солей розчиняли в 2М HCl і кількісно переносили в мірну колбу на 25 см³. Безпосередньо перед вимірюванням готували фоновий електроліт, який складається з розчину А (2М HCl + 0,1М NaSCN + 0,4М Na₂SO₃) і розчину Б (4М NH₄OH) у співвідношенні 3:2 [36].

Для визначення тривалості інверсії складено електрохімічну схему (рис. 2.2) проведення електролізу та наступної інверсії. В ланцюгу I при замкнутому перемикачі К в положенні 1 на індикаторному електроді E_i при заданому потенціалі відбувається процес концентрування, тобто реакція за рівнянням (1) протікає зліва направо. Після закінчення часу концентрування, перемикач К переключається в положення 2 і в ланцюзі II відбувається процес електророзчинення накопиченого металу, тобто реакція протікає справа наліво [37].

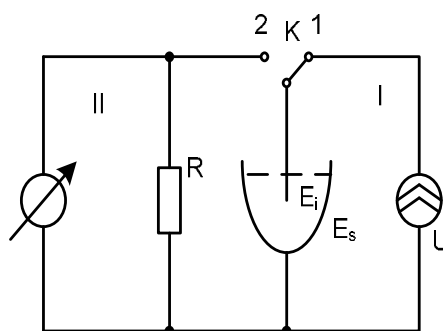


Рис. 2.2 Електрохімічна схема інверсійно-хронопотенціометричного методу: E_i – індикаторний електрод; E_s – електрод порівняння; U – джерело напруги; К – перемикач; R – опір в ланцюгу окислення.

Електрохімічна комірка, в якій проводили вимірювання, складалася зі штативу, електродів вимірювального (золотий твердотілий) і порівняння (хлорсрібний), магнітної мішалки, електролізера (хімічний стакан об'ємом 25 см³) і перемішуючого елемента [38]. Перед початком роботи робочу поверхню вимірювального електроду шліфували хімічно осадженим кальцій сульфатом, ретельно промивали бідистильованою водою. Електрод порівняння заповнювали розчином 2М НСІ. Електроди занурювали у фоновий розчин електролізера, який встановлювали на магнітну мішалку [19].

Вимірювання здійснювали на приладі «Аналізатор ІХП». Фото приладу, технічні характеристики, приклад графіків вимірювань наведені у додатку Д.

Значення масової концентрації елемента в пробі води визначали методом добавки відомої маси стандартного зразку. Концентрацію розраховували за формулою (3):

$$C = \frac{t_{II} - t_{\Phi}}{t_{д} - t_{II}} \cdot m \cdot k, \text{ мг/дм}^3 \quad (3)$$

де t_{II} – час інверсії проби, с; t_{Φ} – час інверсії фону, с; $t_{д}$ – час інверсії добавки, с; m – маса внесеної добавки, мкг; k – перевідний коефіцієнт (для розрахунку концентрації елемента в пробі об'єкту за значенням концентрації в електрохімічній комірниці) [29].

2.3 Оцінка якості води за індексом забруднення води

Узагальнення результатів аналізу води здійснюється на основі методики КНД 211.1.4.010-94 у вигляді так званого індексу забруднення вод (ІЗВ). ІЗВ є однією з найпростіших методик комплексної оцінки якості води, яка була рекомендована для використання підрозділам Державного комітету гідрометеорології України. Розрахунок ІЗВ проводиться за обмеженим числом інгредієнтів. Визначається середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів по кожному з показників і порівнюється з рівнем значень їх ГДК (4):

$$\text{ІЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ГДК}_i} \quad (4)$$

де, n - кількість вимірних показників якості води; C_i – середня концентрація одного із показників якості води; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація кожного з показників якості води.

За величинами розрахованих ІЗВ виконується оцінка якості води (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Оцінка якості води за ІЗВ

Клас води	Категорії води	Показник
I	дуже чиста	$ІЗВ < 0,3$
II	чиста	$0,3 < ІЗВ < 1$
III	помірно забруднена	$1 < ІЗВ < 2,5$
IV	забруднена	$2,5 < ІЗВ < 4$
V	брудна	$4 < ІЗВ < 6$
VI	дуже брудна	$6 < ІЗВ < 10$
VII	надзвичайно брудна	$ІЗВ > 10$

До I класу відносяться води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Величини їх гідрохімічних та гідробіологічних показників близькі до природних значень для даного регіону.

Для вод II класу характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги.

До III класу відносяться води, які знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем.

Води IV-VII класів – це води з порушеними екологічними параметрами, їх екологічний стан оцінюється як екологічний регрес [39].

Для математичної обробки результатів дослідження використовували комп'ютерну програму Microsoft Excel.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Аналіз води р. Тиса та р. Ріка

Результати вимірювань вмісту Pb(II), Cu(II) та Zn(II) у водах р. Тиса та р. Ріка представлено у додатку Д та на рис. 3.1-3.4.

За результатами досліджень встановлено, що в січні та квітні 2020 р. вміст Pb(II) у водах обох річок має майже однакове значення, в інші сезони у водах р. Тиса він значно більший у порівнянні із р. Ріка. Це пояснюється значним антропогенним та техногенним навантаженням, процесами евтрофікації, внаслідок яких небезпечні речовини потрапляють до басейну Тиси. Таких явищ не спостерігається у водах р. Ріка, оскільки вона є гірською.

Для води питного призначення (ГДК Pb – 0,01 мг/дм³) невелике перевищення ГДК в р. Тиса спостерігались взимку 2020 р. і становило 1,2 ГДК, а в липні та жовтні значення концентрації Pb(II) становило відповідно 3,2 ГДК та 3,8 ГДК. В р. Ріка максимальне значення концентрацій цього елемента встановлено в січні 1,3 ГДК та жовтні 2,1 ГДК (рис. 3.1).

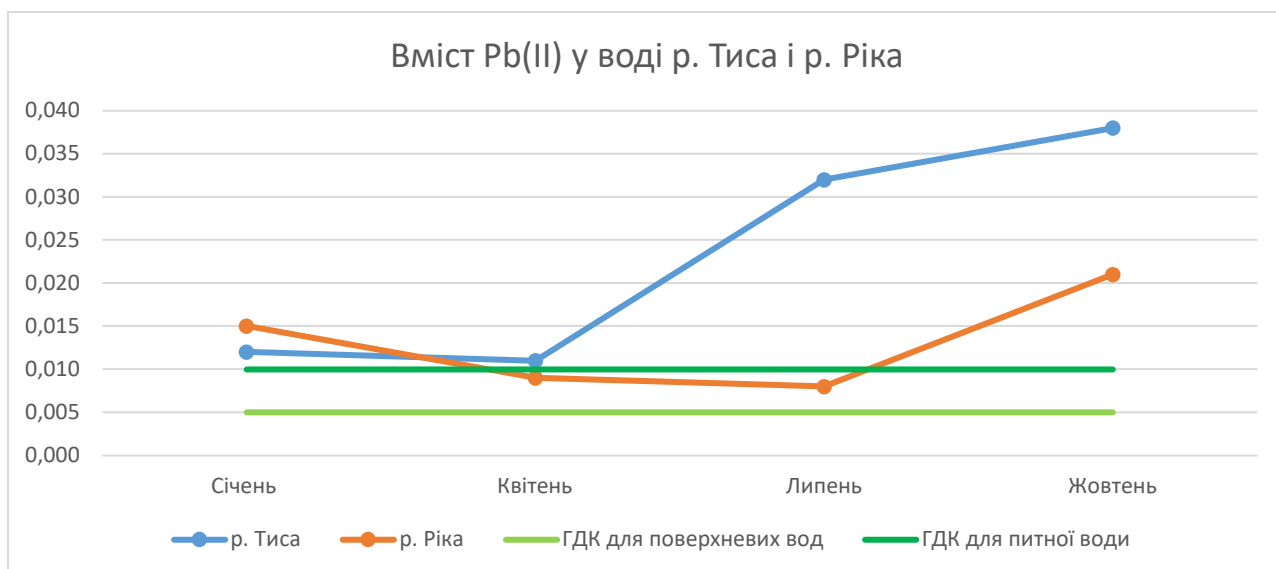


Рис. 3.1 Вміст Pb(II) у воді р. Тиса і р. Ріка

Стосовно нормативів важких металів для поверхневих вод слід зазначити, що вони є найбільш чутливими у порівнянні із відповідними для питної води. Їх перевищення спостерігалось у всіх відібраних зразках.

Так, по відношенню вмісту Pb(II) до ГДК для поверхневих вод (ГДК Pb – 0,005 мг/дм³) у р. Тиса максимальні значення становили 6,4 ГДК у липні 2020 р. та 7,4 ГДК у жовтні. У воді р. Ріка встановлені максимальні значення концентрацій плюмбуму: 3 ГДК в січні, 1,8 ГДК в квітні й 4,2 ГДК в жовтні.

Оцінюючи рівень забруднення Cu(II) і Zn(II) рік Тиса та Ріка для води питного призначення (ГДК становить 1,0 мг/дм³) необхідно зазначити, що перевищення норми ГДК за весь період дослідження не спостерігалось.

Для поверхневих вод р. Тиса та р. Ріка (ГДК Cu(II) – 0,001 мг/дм³) перевищення вмісту купруму спостерігалось у всіх досліджуваних зразках (рис. 3.2). У воді р. Тиса концентрація Cu(II) коливалась від 42 ГДК у січні 2020 р. до 51 ГДК в жовтні. Для р. Ріка відповідні значення становлять від 48 ГДК в січні до 81 ГДК в жовтні.

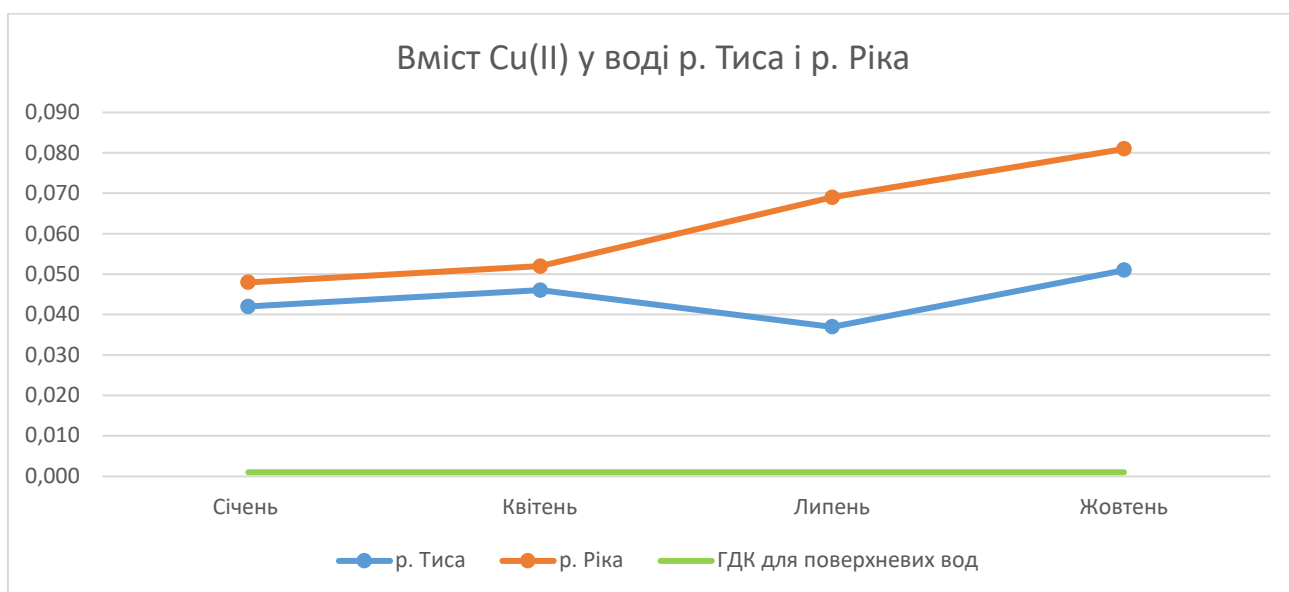


Рис. 3.2 Вміст Cu(II) у воді р. Тиса і р. Ріка

Для поверхневих вод (ГДК Zn(II) – 0,01 мг/дм³) перевищення допустимих значень у водах р. Тиса і р. Ріка відзначалось протягом всього періоду спостережень (рис. 3.3). Так у р. Тиса вміст цинку змінювався від 9,3 ГДК в жовтні до 13,6 ГДК в квітні, а для р. Ріка концентрація цинку становила від 8,1 ГДК в липні до 13,9 ГДК в квітні.

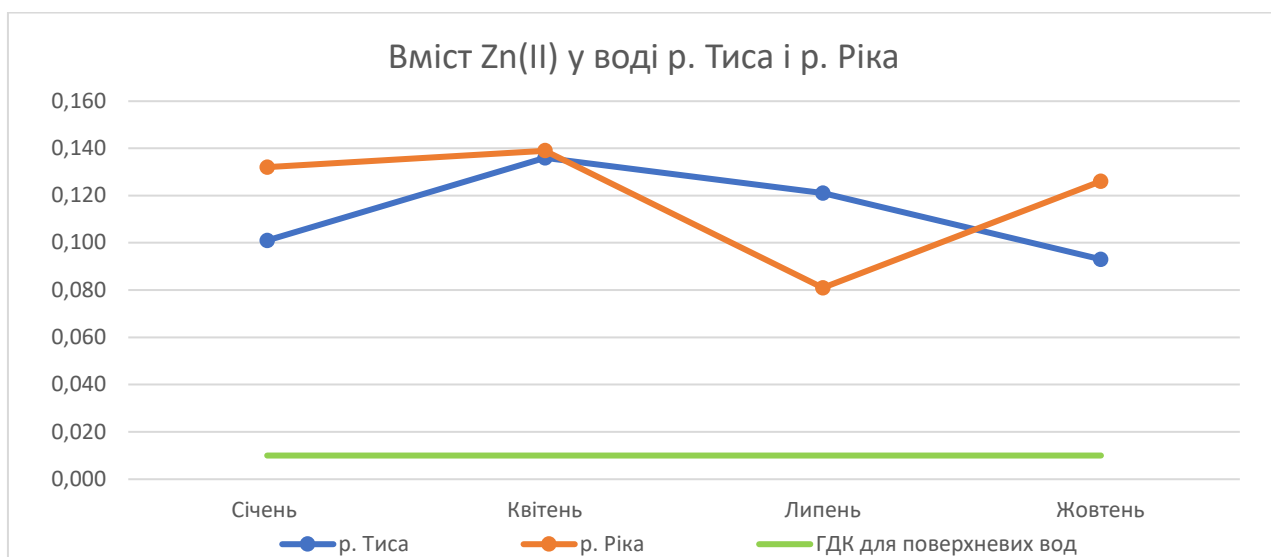


Рис. 3.3 Вміст Zn(II) у воді р. Тиса і р. Ріка

На основі отриманих даних за вмістом ВМ у водах річок Тиса та Ріка необхідно відзначити сезонний характер зміни концентрації, залежність від зливових дощів, які спричиняють паводки і, як наслідок, вимивання солей з поверхні ґрунту. У результаті цього стоки води із забруднених територій промислових зон і сільськогосподарських угідь знову потрапляють у русло р. Тиса, що й призводить до підвищення концентрацій свинцю у воді. При цьому перевищення концентрації міді і цинку у воді для питного використання не спостерігалось. В свою чергу, вміст Cu(II) і Zn(II) в р. Ріка перевищує відповідний у р. Тиса, що пояснюється вимиванням елементів з гірських порід.

За результатами наших досліджень отримано діаграми (рис. 3.4). За ІЗВ, на яких представлено розрахований індекс забруднення води з урахуванням ГДК для питної води та для поверхневих вод, згідно з яким зростає рівень забруднення поверхневих вод р. Тиса та р. Ріка. Це відбувається внаслідок поведень та недотримування екологічно-зберігаючих технологій виробництва.

Як видно із рис. 3.4 питна вода р. Тиса характеризувалася максимальними значеннями ІЗВ в липні та жовтні 2020 р. (вода III класу – помірно забруднена), в інший час вода відносилась до II класу (чиста). Що стосується р. Ріка, то вода була чистою протягом всього періоду спостережень.

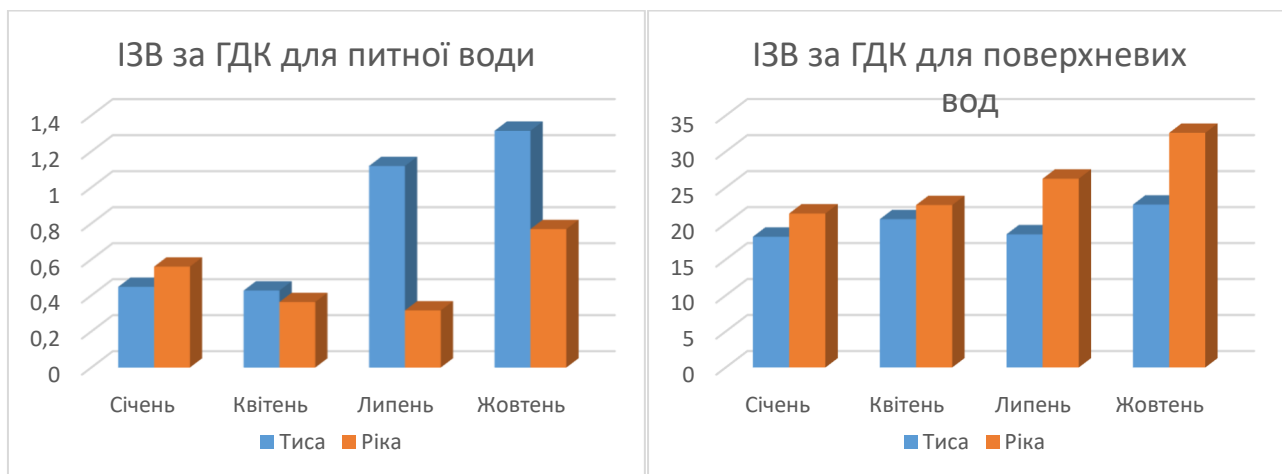


Рис. 3.4 Індекс забруднення води з урахуванням гранично допустимих концентрацій для вод різного призначення

За ГДК для поверхневих вод протягом всього періоду дослідження води р. Тиса та р. Ріка відносились до надзвичайно брудних (вода VII класу – надмірно забруднена, з порушенням екологічних параметрів, стан яких оцінюється як екологічний регрес, $ІЗВ > 10$).

Порівнюючи отримані значення з результатами Галімової В.М. та ін. [40], встановлено, що у порівнянні з попередніми дослідженнями в р. Тиса вміст плумбуму зріс у три рази, вміст купруму – у два рази, а вміст цинку – у півтора. У воді р. Ріка вміст плумбуму не змінився, вміст купруму і цинку збільшився у три рази. ІЗВ за ГДК для питної води р. Тиса збільшився вдвічі, а р. Ріки не змінилося. Індекс забруднення води за ГДК для поверхневих вод зріс на 30% для р. Тиса та на 100% для р. Ріка.

Таким чином, на основі проведених досліджень можна встановити наступні закономірності: 1). спостерігаються періодичні (сезонні) коливання рівнів забруднення важкими металами води р. Тиса та р. Ріка, які викликані для р. Тиса, в основному, повенями і дією антропогенних факторів, та процесами евтрифікації, а для р. Ріка – природними опадами, ерозійними процесами; 2) у період повеней вода р. Тиса стає непридатною для вживання населенням; 4) стан забруднення важкими металами р. Тиса і р. Ріка погіршується.

3.2 Аналіз води природних джерел у м. Київ

Результати вимірювання хімічного складу води природних джерел Києва наведені в додатку Е та на рис. 3.5-3.6.

У двох зразках, а саме у воді джерела св. Михайла (Феофанія) та джерел в Пущі-Водиці на 13-ій лінії жоден з показників, які аналізувались не виходив за межі ГДК.

Значення рН (норматив – 6,5-8,5), у досліджуваних зразках варіювало від 6,4 (Пуща-Водиця, 1-ша лінія) до 8,2 (вул. Кайсарова). Таким чином, показник кислотності води природних джерел м. Київа знаходився у допустимих межах за винятком джерела у Пущі-Водиці, де відбувається незначне закислення.

Вміст сухого залишку (ГДК – 1000 мг/дм³) змінювався від 103 мг/дм³ до 2005 мг/дм³. Надмірна мінералізація була зафіксована у воді джерел св. Пантелеймона, «Сльоза Богородиці» (Феофанія), св. Антонія (Києво-Печерська Лавра), у джерелі Фролівського монастиря та у парку «Солом'янський».

Жорсткість досліджуваних вод становила від 1,2 мг-екв/дм³ до 22,2 мг-екв/дм³. Перевищення ГДК (7 мг-екв/дм³) зафіксовано у джерелах св. Пантелеймона і «Сльоза Богородиці» (Феофанія), св. Антонія (Києво-Печерська Лавра), джерелі Фролівського монастиря, у парках «Солом'янський та «Нивки», а також за адресами вул. Кайсарова, вул. Сальського, вул. Сирецька.

Значення перманганатної окислюваності досліджуваних зразків знаходились у межах від 0,5 мгО/дм³ до 9,5 мгО/дм³. Перевищення ГДК (5 мгО/дм³) спостерігалось у джерелах св. Пантелеймона і «Сльоза Богородиці» (Феофанія), Фролівського монастиря, на вул. Кайсарова, вул. Сирецькій, у парках «Солом'янський», «Нивки», що свідчить про забруднення даної води мікроорганізмами чи органічними сполуками.

Концентрація кальцію у воді, що досліджувалась варіювала від 16 мг/дм³ до 302 мг/дм³. Перевищення допустимих значень (ГДК – 130 мг/дм³) спостерігалось у джерелах св. Пантелеймона і «Сльоза Богородиці» (Феофанія), св. Антонія (Києво-Печерська Лавра), джерелі Фролівського монастиря, у

парках «Солом'янський та «Нивки», а також за адресами вул. Кайсарова, вул. Сальського, вул. Сирецька. Варто зазначити, що надмірний вміст кальцію спостерігався у тих джерелах, де було зафіксовано підвищену жорсткість.

Серед усіх досліджених зразків найменший вміст магнію (ГДК – 80 мг/дм³) був встановлений у джерелі, що знаходиться у Пущі-Водиці, на 1-шій лінії (4,3 мг/дм³), а найбільший – у джерелі св. Антонія, Києво-Печерська Лавра (100 мг/дм³). Крім того, перевищення ГДК було зафіксоване у джерелі св. Пантелеймона, парку «Солом'янський».

Мінімальний вміст нітрат-аніону (ГДК – 50 мг/дм³) становив 2,1 мг/дм³ (джерело св. Михайла, Феофанія), а максимальний – 200 мг/дм³ (джерело св. Антонія, Києво-Печерська Лавра). Також нітратне забрудненіми спостерігалось у воді джерел: св. Пантелеймона та «Сльоза Богородиці» (Феофанія), джерело Фролівського монастиря, парку «Дубки» та джерелах на вул. Кайсарова, вул. Сальського, і вул. Сирецькій.

Концентрація заліза (ГДК – 0,2 мг/дм³) у досліджуваній воді становила до 0,861 мг/дм³ у джерелі парку «Дубки». Також перевищення ГДК встановлено у джерелі парку «Солом'янський», «Дубки», джерелі св. Антонія, Фролівського монастиря, на вул. Котовського, Сирецькій, на 1-ій і 14-ій лінії Пущі-Водиці.

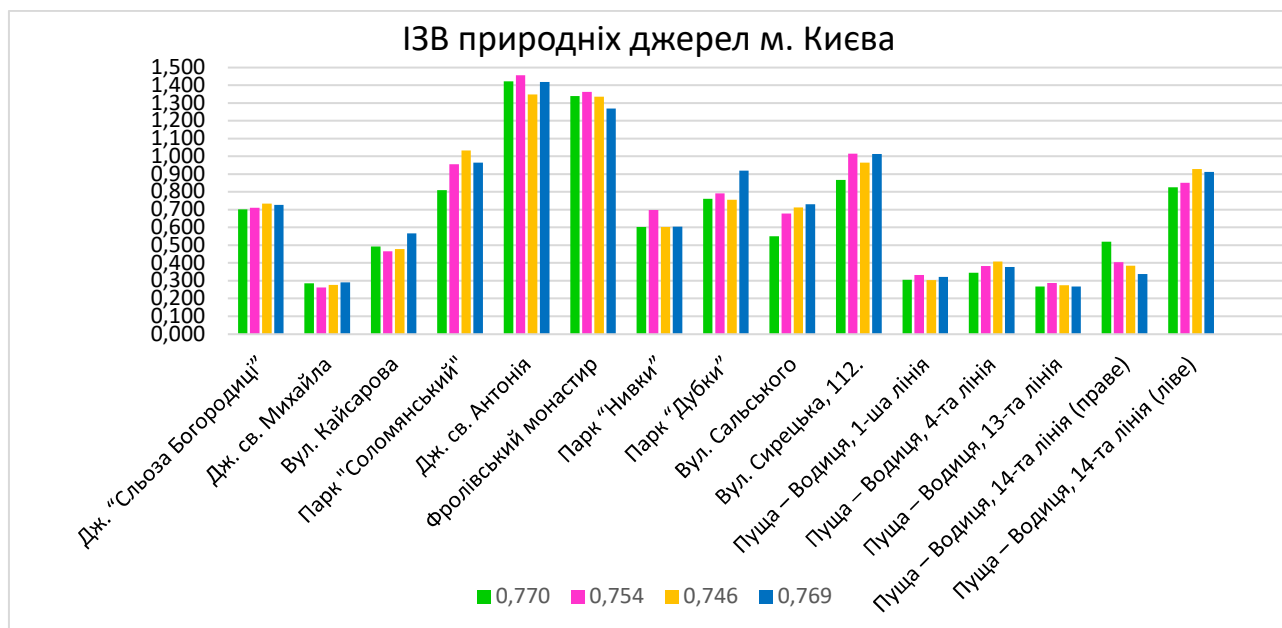


Рис. 3.5. Індекс забруднення води природних джерел м. Києва за ГДК для питної води у 2019 р.

Вміст марганцю (ГДК – 0,05 мг/дм³) складав до 0,22 мг/дм³ (Пуща-Водиця, 14-та лінія). Також було зафіксовано перевищення норм у джерелах за адресами вул. Сирецька, вул. Сальського, у парку «Нивки», «Солом'янський», «Дубки», у джерелах Фролівського монастиря і Києво-Печерської Лаври.

Забруднення сполуками хрому періодично було зафіксовано в джерелі св. Антонія, парку «Дубки» та у Пущі-Водиці, 14-та лінія (ліве).

Значення концентрацій міді (ГДК – 1 мг/дм³), нікелю (ГДК – 0,02 мг/дм³), кадмію (ГДК – 0,001 мг/дм³) в усіх зразках не перевищували допустимі норми.

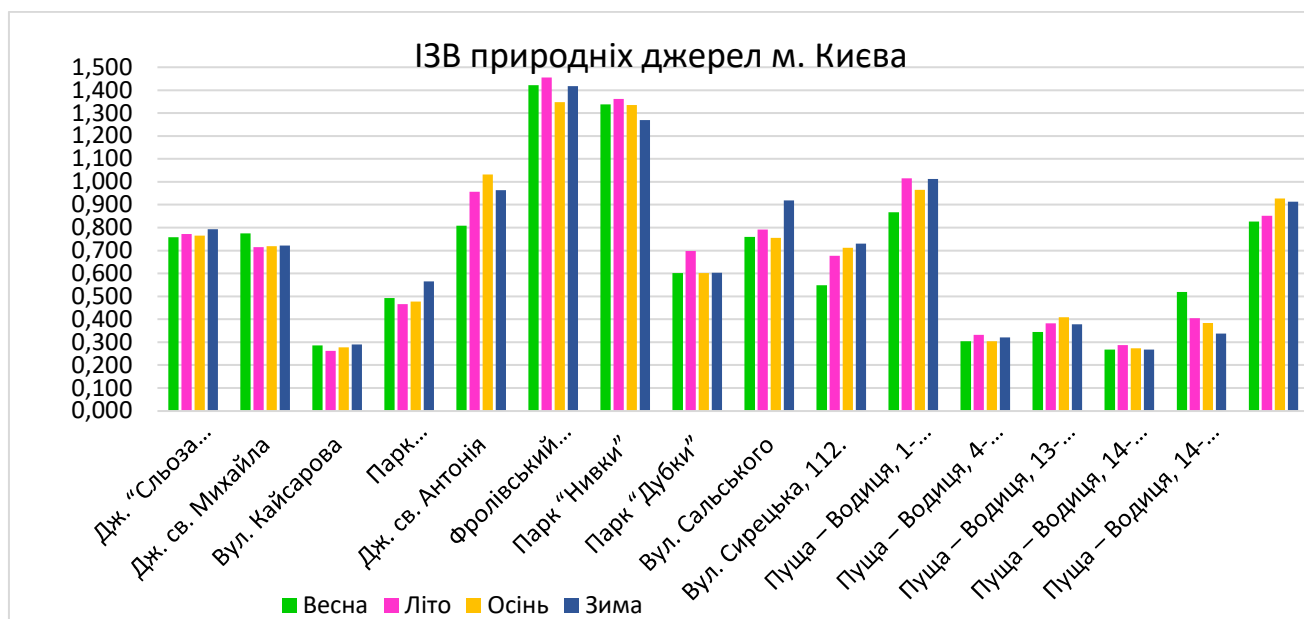


Рис. 3.6. Індекс забруднення води природних джерел м. Києва за ГДК для питної води у 2020 р.

Згідно розрахованого індексу забруднення води (рис. 3.5-3.6) вода постійно належала до III класу - помірно забруднена (джерела Фролівського монастиря та св. Антонія (Києво-Печерська лавра); а для інших джерел парку «Солом'янський», на вул. Сирецькій, 112, змінювалась протягом року.

Такі води знаходяться під значним антропогенним впливом і свідчать, що екосистема в цьому місці досягла межі своєї стійкості. Протягом всього періоду дослідження води джерела св. Михайла (Феофанія), 13-тої лінії Пущі-Водиці були дуже чистими (I клас якості). Вони майже не зазнають впливу людського

фактору. В решті випадків досліджувані води належали до II класу якості (чиста вода).

Отже, частина досліджуваних природних джерел є чистими, а інші зазнають значного антропогенного навантаження. Хімічні речовини легко досягають підземних ґрунтових вод і вживання такої води може бути небезпечним для здоров'я.

3.3 Аналіз бюветної води м. Київ

Результати аналізу води хімічного складу бюветів Києва представлено на рис. 3.7-3.9 та у додатку Ж.

За результатами проведених досліджень встановлено, що рН, сухий залишок, жорсткість, перманганатна окислюваність, вміст Ca, Mg, NO_3^- , Cu, Ni, Cd, Cr не перевищував рівень ГДК. Крім того, хотілося б зазначити, що вміст таких токсичних важких металів як Cr, Cd та Cu не перевищували 10% ГДК.

Загальний вміст солей у всіх досліджуваних зразках становив 247-544 мг/дм³, що є оптимальною мінералізацією для питної води і не перевищує рівень ГДК. При визначенні жорсткості у воді із бювету на пр-ті Науки, 23 встановлено рівень від 4,4 до 4,75 мг-екв/дм³, що мало відрізняється від оптимального значення 4,5 мг-екв/дм³ згідно [1].

Варто виділити бювет на вул. Героїв Війни, який було введено в експлуатацію у 2019 р. Концентрація солей жорсткості у воді тут є надзвичайно низькою завдяки системі очистки води, що підтверджено у паспорті бювету. Надто м'яка вода не є ідеальною для організму людини, вода не забезпечує фізіологічні потреби організму людини у іонах кальцію та магнію.

Перевищення вмісту загального заліза періодично відзначалось у бюветах за адресами вул. Маршала Якубовського (0,23; 0,2 і 0,22 мг/дм³), пр-т Академіка Глушкова, 39 (від 0,21 до 0,3 мг/дм³) та вул. Новопирогівська, 33 (0,25 і 0,21 мг/дм³). Це пов'язано зі зношенням труб, якими вода подається до споживача.

Перевищення концентрацій Mn спостерігається постійно чи періодично в семи із десяти досліджених бюветів. Лише вода із бюветів на вул. Героїв Війни, Новопирогівській та Академіка Богомольця вміст мангану не перевищує рівень ГДК. Аналіз сезонної зміни концентрації Mn (рис. 3.7) показав, що у воді цих бюветів майже однаковий вміст мангану незалежно від пори року. В решті зразків відбувалися сезонні коливання вмісту цього елемента. Встановлено синхронне підвищення вмісту Mn взимку 2020 р. у бюветах за адресами пр-т. Науки, пров. Жуковського, вул. Васильківська, вул. Героїв Оборони, пр-т. Академіка Глушкова, вул. Маршала Якубовського взимку 2020 р., а у останніх п'яти – ще влітку 2019 р. Найвищу концентрацію 4,4 ГДК зафіксовано у бюветі на вул. Маршала Якубовського.

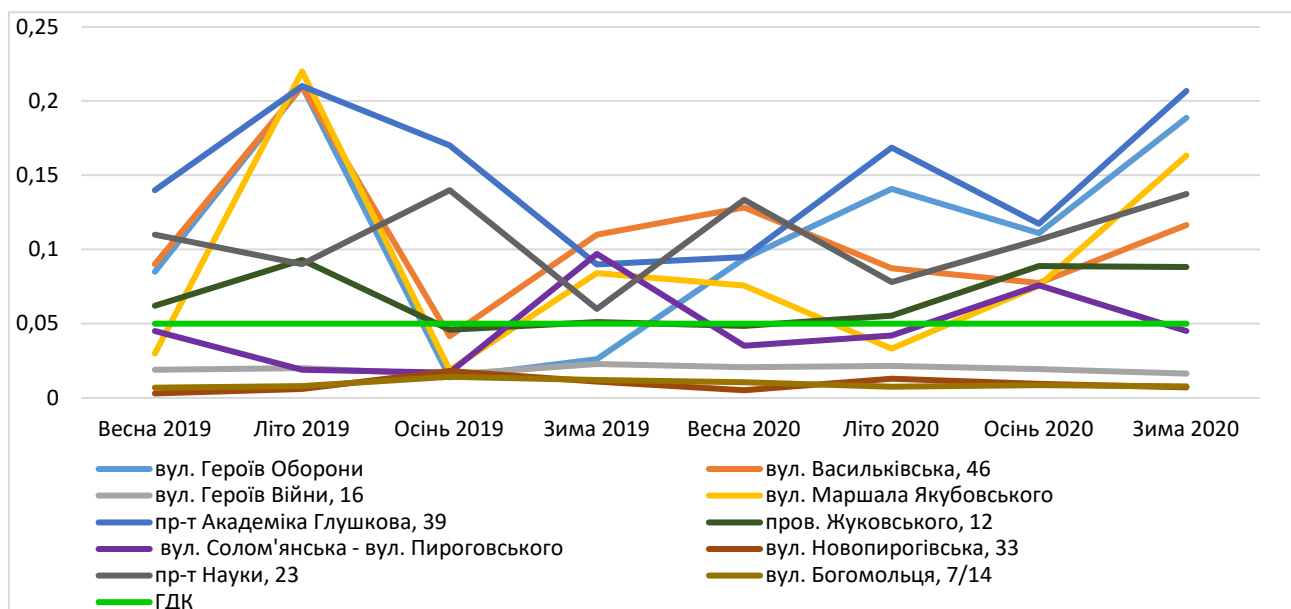


Рис. 3.7 Сезонні коливання вмісту мангану у бюветах Києва

Манган потрапляє у воду головним чином шляхом вимивання з гірських порід. Україна має великі запаси марганцевих руд, тому присутність марганцю виявляють у більшій частині вод країни. З іншого боку надлишок марганцю згубно впливає на нервову систему людини, викликаючи широкий спектр захворювань від розумових розладів до депресії [41].

Варто вказати, що при визначенні вмісту Cr методом ІХП у бюветній воді його концентрація складала слідові значення, які значно нижчі за ГДК [31].

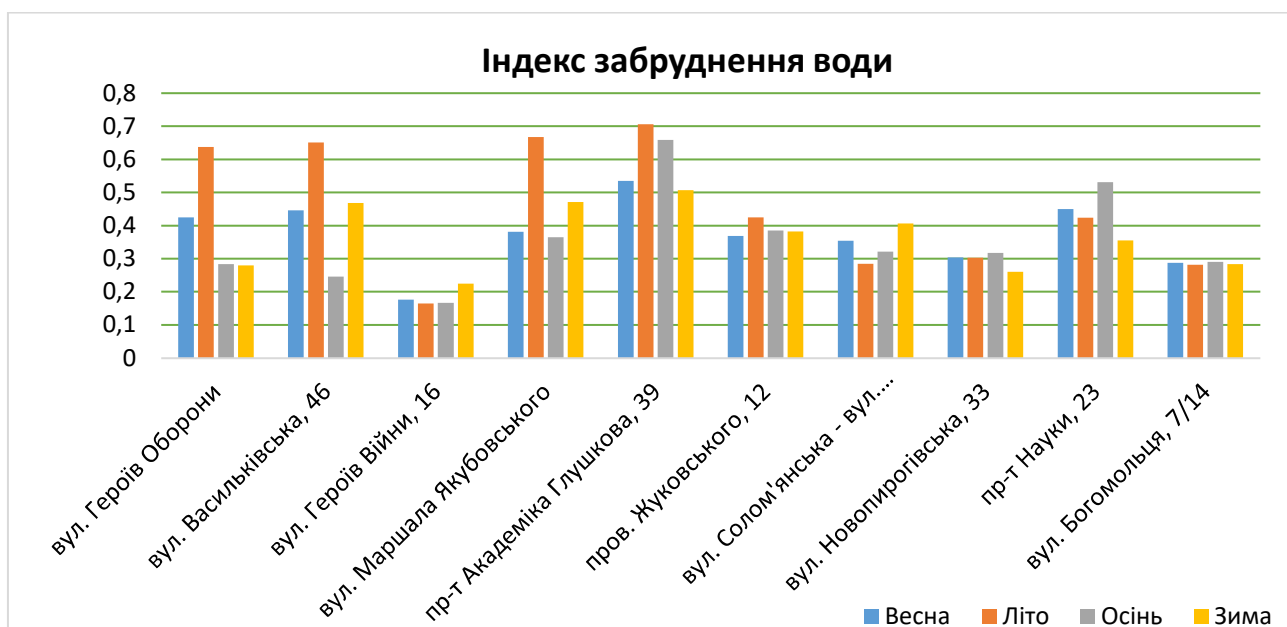


Рис. 3.8 Індекс забруднення води бюветів м. Києва в 2019 р.

Оцінка якості води бюветів м. Києва за допомогою індексу забруднення води (рис. 3.8) показує, що до I категорії дуже чистих вод належать води бюветів за адресами вул. Академіка Богомольця, 7/14 та вул. Героїв Війни, 16. Крім того у водах цих бюветів не відбувається перевищення ГДК жодного із досліджуваних показників. У бюветах на вул. Героїв Оборони, 10 та вул. Васильківській, 46, вул. Новопирогівській, 33 та вул. Солом'янській – вул. Пироговського відбуваються сезонні коливання забрудненості води. Решта досліджуваних вод протягом всього періоду досліджень належали до II класу якості води – чиста вода. Це свідчить про певні зміни вод бюветів у порівнянні з природними водами внаслідок антропогенного впливу. Проте екологічна рівновага не порушується.

У 2020 році (рис. 3.9) вода бюветів вул. Героїв Війни, 16, вул. Новопирогівська, 33 та вул. Богомольця, 7/14 була дуже чистою протягом всього періоду. Решта досліджуваних зразків належали до II категорії чистих вод.

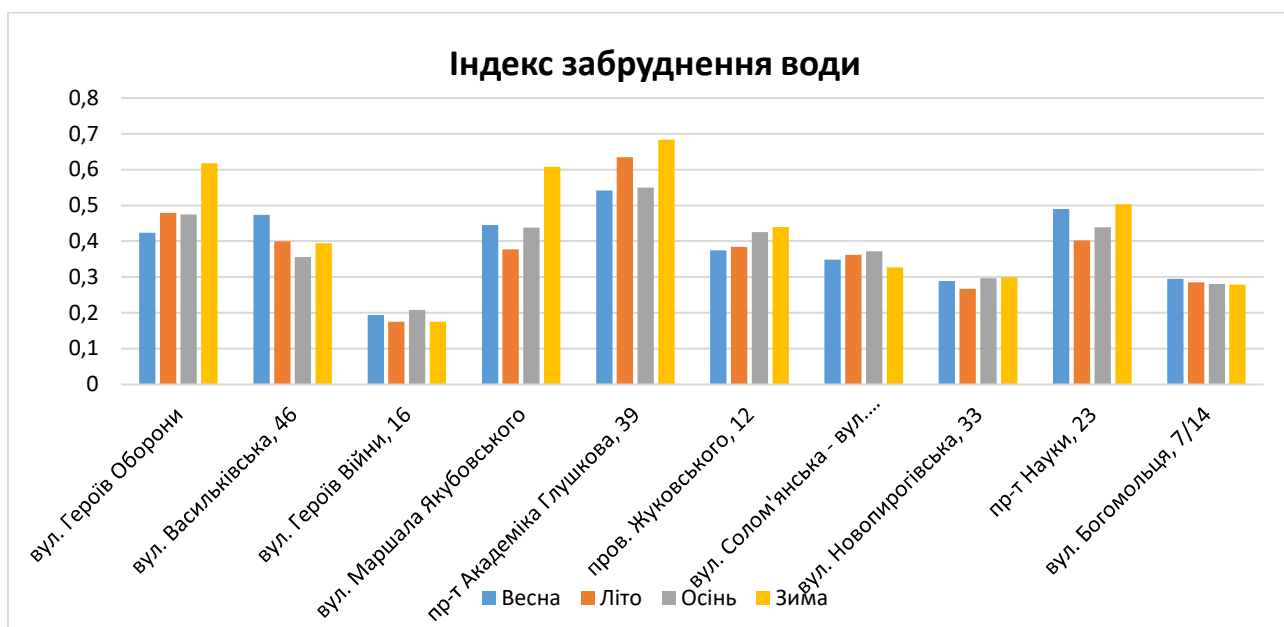


Рис. 3.9 Індекс забруднення води бюветів Києва в 2020 р.

Отже, за фізіологічними показниками артезіанська вода відповідає вимогам нормативних документів [24]. Зокрема, за вмістом сухого залишку, загальною твердістю вода близька до оптимальної для організму людини [1]. За вмістом токсикологічних показників встановлено перевищення ГДК (за вмістом мангану і заліза) в ряді випадків. Проте, у порівнянні із природними джерелами, артезіанська вода бюветів є менш забрудненою та більш безпечною для вживання населенням м. Києва.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено вміст хімічних компонентів у природних водах поверхневого, ґрунтового та артезіанського походження з використанням сучасного методу інверсійної хронопотенціометрії та фізико-хімічних методів. і Розраховано індекс забруднення води.

2. Встановлено, що якість води річок Тиса та Ріка у 2020р. є загалом придатними до споживання, проте внаслідок техногенного навантаження, повеней вони стали більш забруднені у порівнянні з попередніми дослідженнями.

3. Визначено, що води природних джерел св. Михайла (Феофанія) та 13-тої лінії Пущі-Водиці є придатними для пиття, проте води інших 14 досліджених джерел є небезпечними для здоров'я.

4. Води усіх досліджених бюветів є чистими або дуже чистими. Проте у воді бюветів за адресами вул. Героїв Оборони 10, пр-т Академіка Глушкова, 39, вул. Солом'янська-Пироговського, пр-т Науки, 23, вул. Васильківська, 46, вул. Маршала Якубовського, пров. Жуковського, 12, виявлено забруднення йонами мангану.

5. У порівнянні з ґрунтовими, артезіанські води є більш безпечним джерелом природної питної води, оскільки є найбільш захищеними від потрапляння контамінуючих речовин внаслідок антропогенного впливу.

6. Електрохімічний метод інверсійної хронопотенціометрії є ефективним при дослідженні природних вод. Особливе значення має можливість визначення широкого спектру важких металів з високою точністю. Проте для комплексного дослідження води доводиться застосовувати інші методи. Перспективним є також розробка нових методик для визначення інших елементів методом інверсійної хронопотенціометрії.

7. Метод ІХП дозволяє створити систему екологічного моніторингу вмісту ВМ у водних середовищах із застосуванням Інтернет-технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 541 p.
2. Левковська Л. В. Безпека водних ресурсів України: аналіз, оцінка, пріоритети забезпечення / Л.В. Левковська, А.М. Сундук // Економіка природокористування і охорони довкілля: Зб. наук. пр. – К.: ДУ ІЕПСР НАН України, 2014. — С. 71-75.
3. Li Z. Assessment of potential health risk of major contaminants of groundwater in a densely populated agricultural area. / Z. Li, K. Yang, C. Xie, Q. Yang, X. Lei, H. Wang // Environmental Geochemistry and Health. – 2019. – p. 1-20.
4. Вергун О. М. Аналіз актуальних чинників погіршення якості питного водопостачання в контексті національної безпеки України: Аналітична записка [Електронний ресурс] / О. М. Вергун // Національний інститут стратегічних досліджень. – 2013. – Режим доступу: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/analiz-aktualnikh-chinnikiv-pogirshennya-yakosti-pitnogo>
5. Прокопов В. О. Вплив мінерального складу питної води на хвороби системи кровообігу. / В. О. Прокопов, О. Б. Липовецька, М. Ю. Антомонов // Довкілля та здоров'я. – 2016. – №1. – С. 54-58.
6. Липовецька О. Б. Вплив мінерального складу питної води На хвороби органів травлення дорослого населення (на прикладі м. Херсона). / О. Б. Липовецька // Гігієна населених місць. – 2015. – №65. – С. 290-295.
7. Сафранов, Т. А. Мінералізація питних вод як показник їх якості та фактор впливу на здоров'я населення. / Т. А. Сафранов // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2018. – №1-2 (29). – С. 73-80.
8. Dalzochio T. In situ monitoring of the Sinos River, southern Brazil: water quality parameters, biomarkers, and metal bioaccumulation in fish. / T. Dalzochio, G. Rodrigues, L. Simões, M. S. De Souza, I. E. Petry, N. B. Andrigueti, G. Silva, L. B. da Silva, G. Gehlen // Environmental science and pollution research international. – 2018. – №25(10). – pp. 9485–9500

9. Rong N. In situ high-resolution measurement of phosphorus, iron and sulfur by diffusive gradients in thin films in sediments of black-odorous rivers in the Pearl River Delta region, South China. / N. Rong, W. Lu, C. Zhang, Y. Wang, J. Zhu, W. Zhang, P. Lei, // *Environmental research*. – 2020. – №189. – p. 109918.

10. Свояк Н. І. Дослідження забруднення нітратами питної води з децентралізованих джерел водопостачання в Черкаській області. / Н. І. Свояк // *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. – 2014. – №4. С. 113-117.

11. Genthe B. The reach of human health risks associated with metals/metalloids in water and vegetables along a contaminated river catchment: South Africa and Mozambique. / B. Genthe, T. Kapwata, W. Le Roux, J. Chamier, C. Y. Wright // *Chemosphere*. – 2018. – №199. – p. 1-9.

12. Edokpayi J. N. Evaluation of water quality and human risk assessment due to heavy metals in groundwater around Muledane area of Vhembe District, Limpopo Province, South Africa / J. N. Edokpayi, A. M. Enitan, N. Mutileni, J. O. Odiyo // *Chemistry Central Journal*. – 2018. – №12(1). – p. 2.

13. Gumpu M. B. A review on detection of heavy metal ions in water – an electrochemical approach / M. B. Gumpu, S. Sethuraman, U. M. Krishnan, J. V. B. Rayappan, // *Sensors and actuators B: chemical*. – 2015. – №213. – p. 515-533.

14. Карнаухов О.І. Автоматичний метод екологічного моніторингу важких металів в об'єктах навколишнього середовища / О.І. Карнаухов, М.Ф. Повхан, В.М. Галімова // *Науковий вісник Національного аграрного університету*. – 1997. – Вип. 2. – С. 212–219.

15. Bansod B. A review on various electrochemical techniques for heavy metal ions detection with different sensing platforms. / B. Bansod, T. Kumar, R. Thakur, S. Rana, I. Singh, // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2017. – №94. – p. 443-455.

16. Kudr J. Microfluidic electrochemical devices for pollution analysis – A review / J. Kudr, O. Zitka, M. Klimanek, R. Vrba, V. Adam, // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2017. – №246. – p. 578-590.

17. Карнаухов О.І. Електроаналітичні методи в екологічному моніторингу важких металів / О. І. Карнаухов, В. М. Галімова // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 1999. – Вип. 13. – С. 61–72.

18. Карнаухов О.І. Теорія інверсійної хронопотенціометрії із заданим опором ланцюга / О. І. Карнаухов, В. М. Галімова, К. Р. Галімов // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2000. – Вип. 32. – С. 204–209.

19. МВВ 081/36-0790-11. Методика виконання вимірювання масової концентрації свинцю, міді, цинку та кадмію у воді методом інверсійної хронопотенціометрії. / В. А. Копілевич, І. В. Суровцев, В. М. Галімова, К. Г. Козак // Погоджено ДСЕС України Постанова № 6 від 6 березня 2013 р.

20. Ali T. A. Potentiometric determination of iron in polluted water samples using new modified Fe (III)-screen printed ion selective electrode. / T. A. Ali, A. A. Farag, G. G. Mohamed, // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2014. – №20(4). – p. 2394-2400.

21. Пат. 56623 Україна, МПК G01N 27/48. Пристрій виміру концентрації важких металів / Суровцев І. В., Мартинів І.А., Галімова В.М., Бабак О.В.; Заявник та власник Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем. – № и 2010 06799; заявл. 02.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.

22. Сташук В. А. Ефективність протипаводкового захисту в басейні р. Тиса Закарпатської області: монографія / В. А. Сташук, Л. Ф. Кожушко, І. І. Овчаренко // Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. – Херсон: Грінь Д. С., 2013. – 235 с.

23. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. – М.: Госстандарт СССР, 1985. – 12 с.

24. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 30 с.

25. Безопасные уровни содержания вредных веществ в окружающей среде. – Северодонецк: Изд-во ГНИИТБ химических производств, 1994. – 572 с.

26. Бювети Києва. Якість артезіанської води. За ред. Гончарука В. В. – К.: Геопринт, 2003. – 110 с.
27. ГОСТ 24481-80 Вода питьевая. Отбор проб. – М.: Госстандарт СССР, 1980. – 7 с.
28. Суровцев І. В. Інформаційна технологія визначення концентрації токсичних елементів в об'єктах навколишнього середовища. / І. В. Суровцев, С. К. Галімов, О. Е. Татарінов // Кибернетика и вычислительная техника. – 2018. – №1(191). – С. 5-31
29. Kopilevich, V. A., Surovtsev, I. V., Galimova, V. M., Maksin, V. I., & Mank, V. V. Determination of trace amounts of iodide-ions in water using pulse inverse chronopotentiometry. / V. A. Kopilevich, I. V. Surovtsev, V. M. Galimova, V. I. Maksin, V. V. Mank // Journal of water chemistry and technology. – 2017. – №39(5). – С. 289-293.
30. Копилевич В. А. Инверсионно-хронопотенциометрическое определение микроколичеств никеля и кобальта в водах / В. А. Копилевич, В. И. Максин, И. В. Суровцев, В. М. Галимова, Т. К. Панчук, В. В. Манк // Химия и технология воды. – 2015. – 37, № 5. – С. 454-462.
31. Пат. 98049 Україна, МПК G01N 27/00. Спосіб визначення хрому у водних розчинах / В. А. Копілевич, І. В. Суворовцев, В. М. Галімова; Заявник та власник: Національний університет біоресурсів і природокористування. – № u 201412933; заявл. 03.12.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7
32. ГОСТ 23268.12-78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения перманганатной окисляемости. – М.: Госстандарт СССР, 1983. – 4 с.
33. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначання рН (ISO 10523:1994, MOD). – К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. – 16 с.
34. ГОСТ 18164-72 Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка. – М.: Госстандарт СССР, 1974. – 4 с.

35. ДСТУ ISO 6059:2003 Якість води. Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Титрометричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти (ISO 6059:1984, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2014. – 9 с.

36. Surovtsev I. V. Determination of heavy metals in aqueous ecosystems by the method of inversion chronopotentiometry / I. V. Surovtsev, V. M. Galimova, V. V. Mank, V. A. Kopilevich // Journal of water chemistry and technology. – 2009. – Vol. 31, № 6. – pp. 389-295.

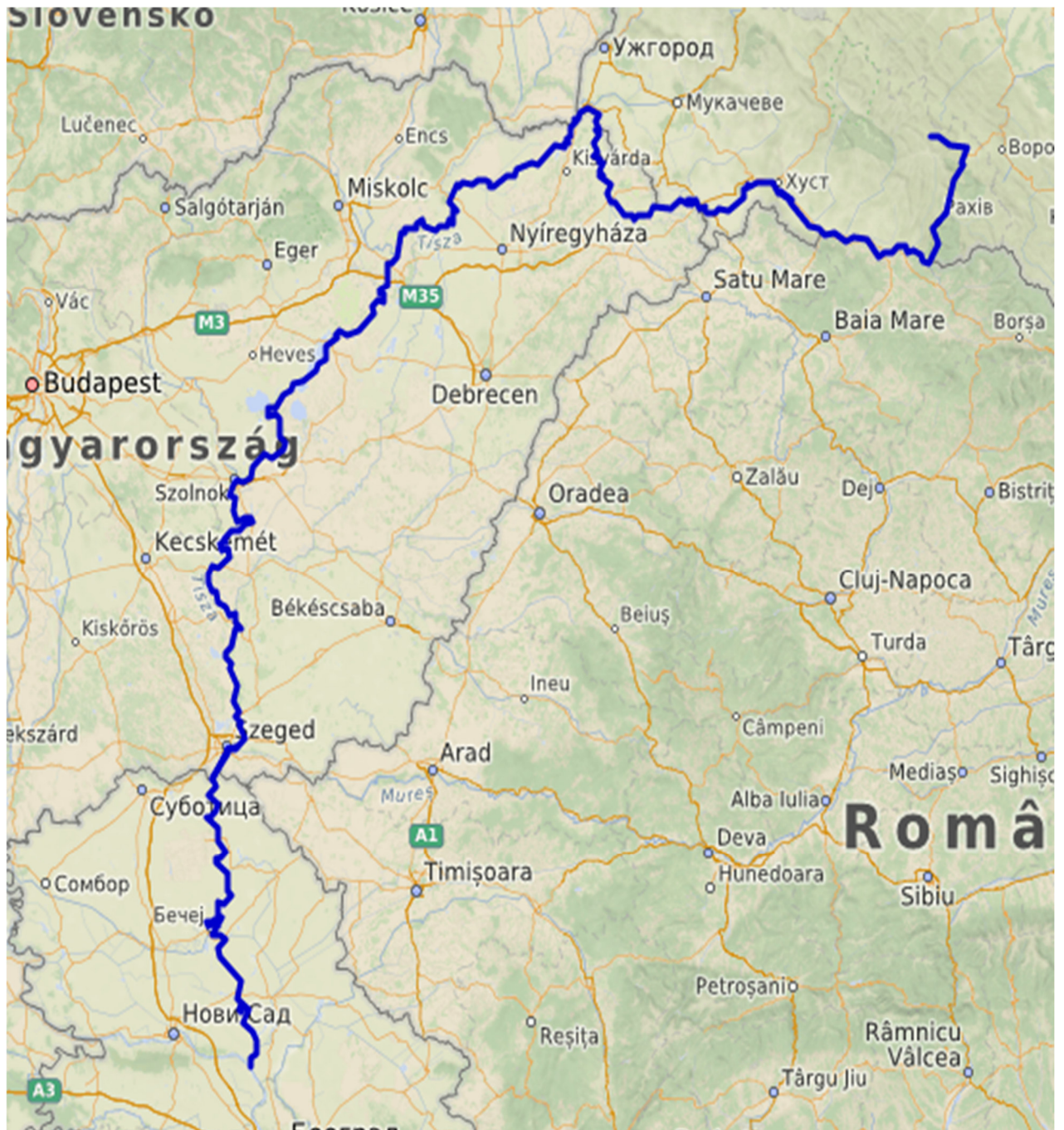
37. Галімова В. М. Інверсійно-хронопотенціометричне визначення вмісту мангану та молібдену у водних розчинах на ртутному плівковому електроді. / В. М. Галімова // Вісник Львівського університету. Сер.: Хімічна. – 2014. – №55 (1). – С. 198-206.

38. Пат. 56867 Україна, МПК G01N 27/49, G01N 27/48, C01G 21/00. Спосіб визначення свинцю методом інверсійної хронопотенціометрії у водних розчинах / Суровцев І. В., Галімова В.М., Копілевич В.А.; Заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u 2010 09510; заявл. 29.07.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.

39. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України: Методика: КНД 211.1.4.010-94. – К.: 1994. – 37 с.

40. Galimova V. M. The assessment of the state of pollution of the waters of the Trascarpathian rivers with heavy metals / V. M. Galimova, V. V. Mank, V. I. Maksin, T. V. Surovtseva // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2011. – Vol. 33, Issue 2. – p. 111-116

41. Sistrunk C. Direct effect of manganese compounds on dopamine and its metabolite Dopac: an in vitro study / C. Sistrunk, M. K. Ross, N.M. Filipov // Environmental Toxicology and Pharmacology. – 2007. – №23. – P. 286-296.

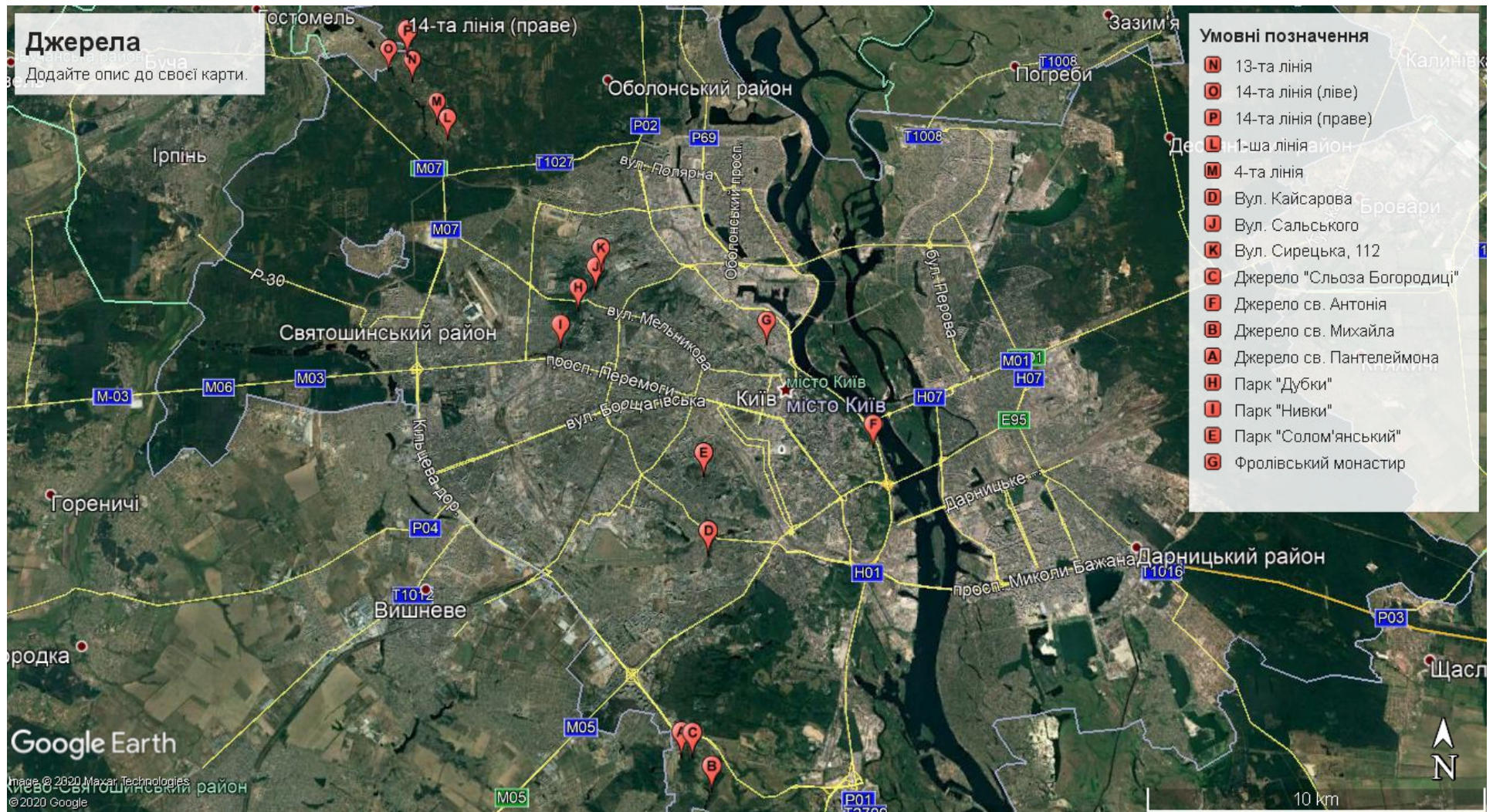


Місце впадіння р. Ріка в р. Тиса та точка контролю води

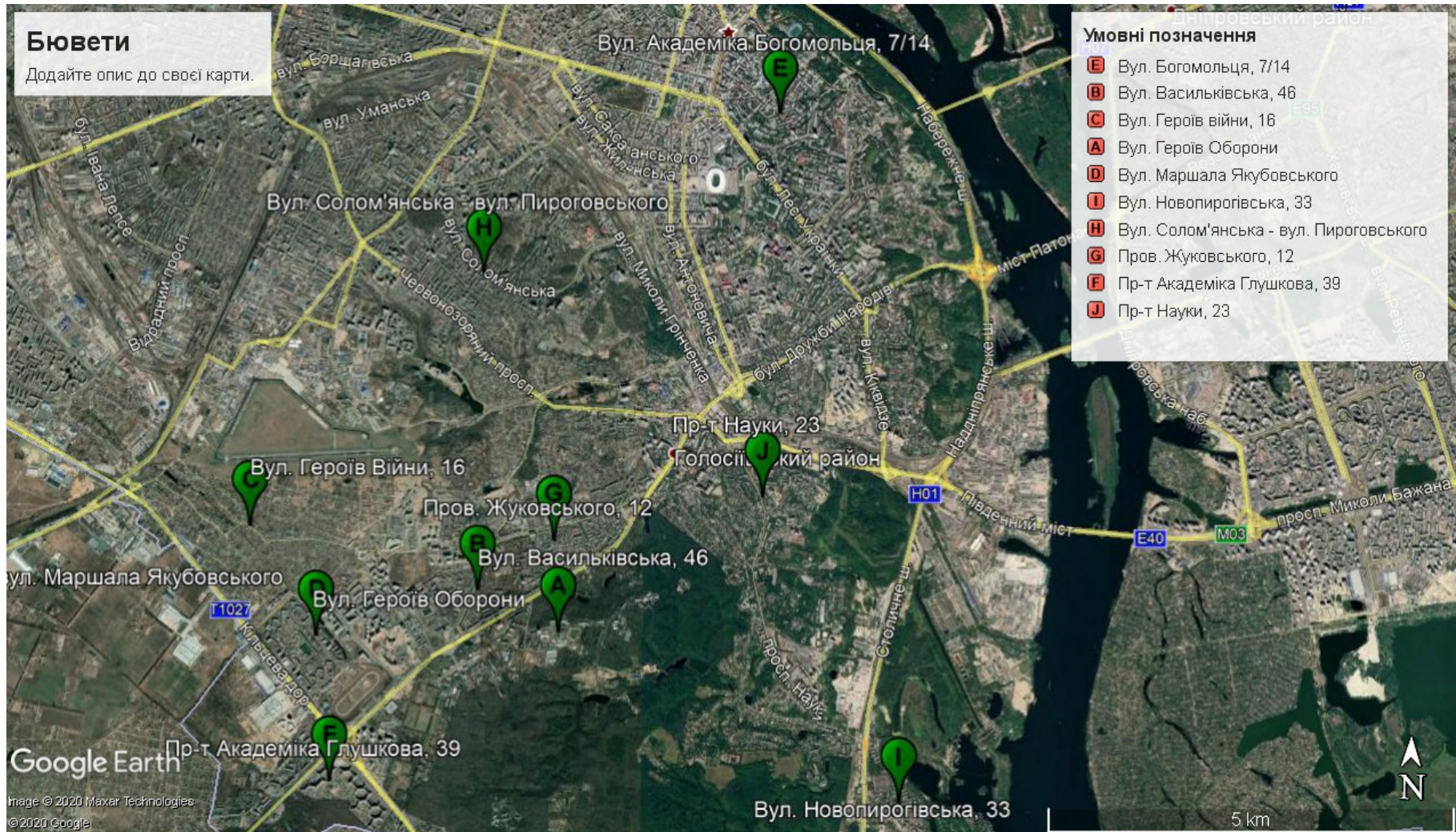


Додаток В

Розташування природних джерел, де було відібрано проби води для аналізу



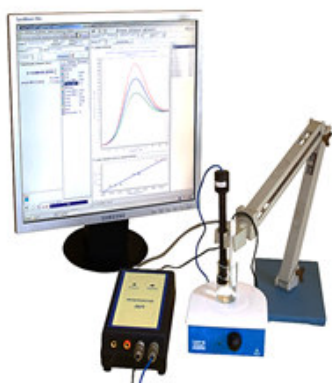
Розташування бюветних комплексів, де було відібрано проби води для аналізу



Технічні характеристики:

3

«Аналізатор ІХП»

Методи аналізу:

1. Інверсійна хронопотенціометрія (ІХП)
2. Імпульсна хронопотенціометрія (ІХІП)
3. Окислювальна хронопотенціометрія (ОІХП)
4. Диференціальна хронопотенціометрія (ДІХП)
5. Пряма хронопотенціометрія (ІХ)

Діапазони вимірювань концентрації:

Hg : від 0,1 до 0,0001 мг/дм³

Pb, Cd, Zn, Cu, As, Ni, Co :
від 1,0 до 0,001 мг/дм³

Sn, Se, Mn, Cr, I, Fe :
від 1,0 до 0,01 мг/дм³

Na, K, Ca : від 2000 до 0,1 мг/дм³

Відн. Похибка вимірювання концентр.: 20 – 30 %

Час вимірювання елемента: не більше 30 хв.л.

Діапазон вимірювання потенціалів: від -2,5 до +1,5 В

Точність зчитування потенціалів: 0,1 мВ

Вимірювання концентрації за методом добавок

- Відбір проби об'єкта для аналізу і пробопідготовки
- Вибір електрохімічних параметрів вимірювання елемента
- Вимірювання фоновому розчину (t_{Φ})
- Вимірювання розчину проби (t_{Π})
- Додавання у пробу добавки маси (m) зразка іонів елемента
- Вимірювання розчину проби з добавкою ($t_{\Pi Д}$)

Розрахунок концентрації елемента:

$$C = \frac{t_{\Pi} - t_{\Phi}}{t_{\Pi Д} - t_{\Pi}} \cdot m \cdot k \qquad k = \frac{V_1}{V_2 \cdot V_0}$$

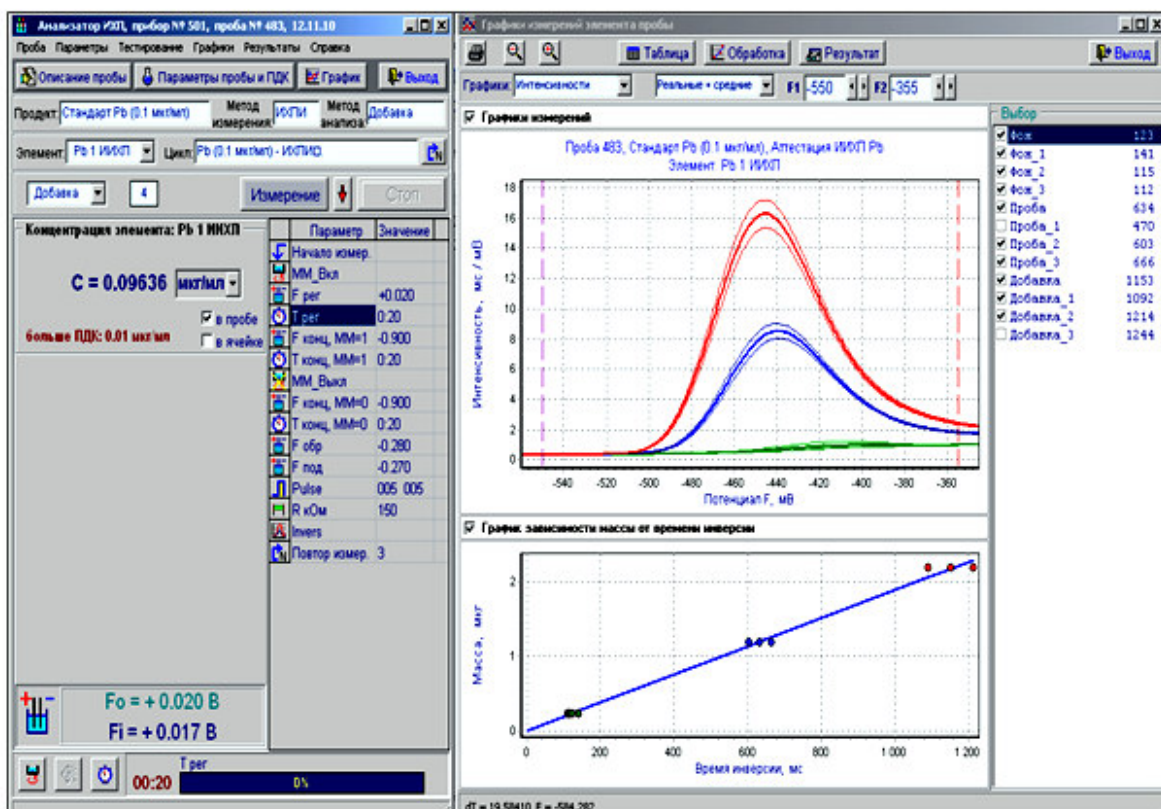
k – перерахунковий коефіцієнт

V_1 - загальний об'єм розчину підготовленої проби, см³;

V_2 - об'єм розчину проби взятий для аналізу, см³;

V_0 - відібраний об'єм проби об'єкта, см³.

Програма визначення концентрації



Визначення концентрації елементу

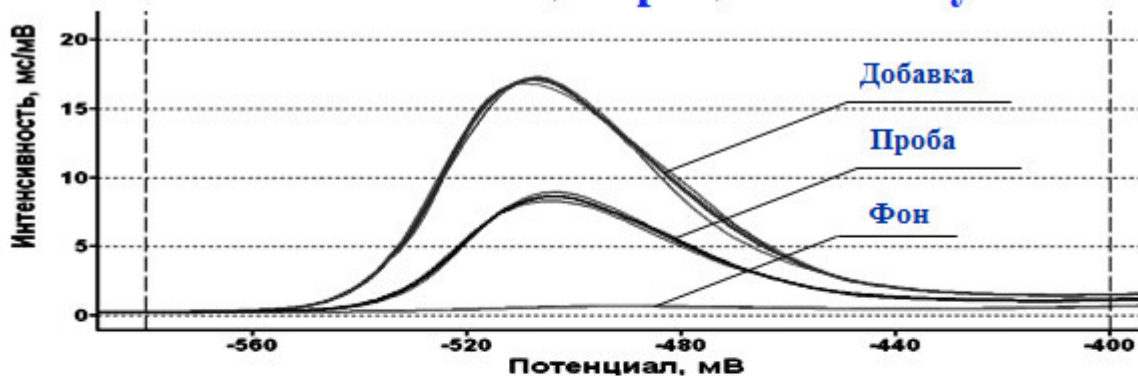


Рис. 4. Сигнали інтенсивності вимірювання концентрації свинцю

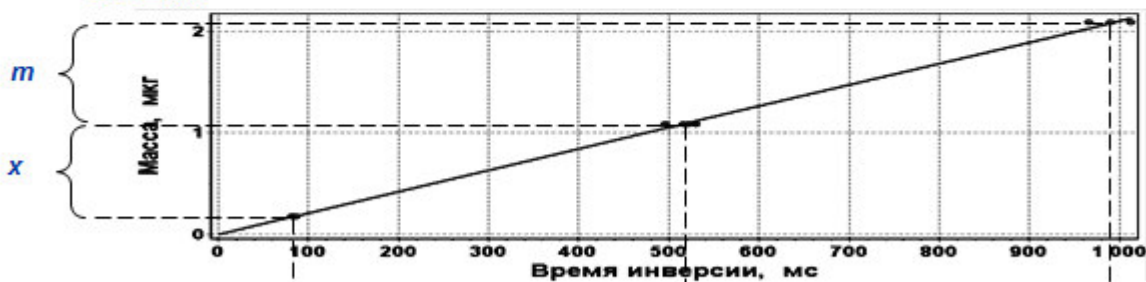




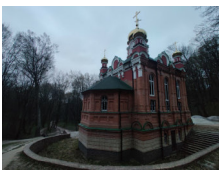


Рис. 5. Схема розрахунку значення концентрації по пропорції:


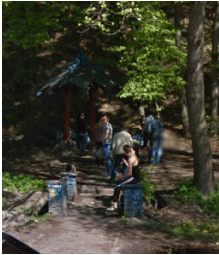
$$\frac{x}{t_{\Pi} - t_{\Phi}} = \frac{m}{t_{\text{Д}} - t_{\Pi}}$$


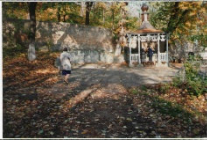
Результати вимірювання концентрації важких металів у воді р. Тиса та р. Ріка
(рожевим позначено перевищення ГДК вмісту важких металів у пробах води)

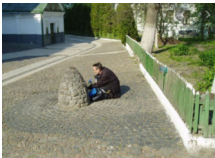
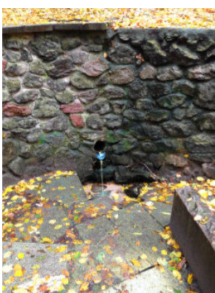
	Показник	Одиниці	ГДК для питної води	Місяць вимірювання, 2020 р			
				Квітень	Липень	Жовтень	Січень
р. Тиса	Pb(II)	мг/дм ³	0,01	0,012	0,008	0,032	0,042
	Cu(II)	мг/дм ³	1	0,022	0,031	0,023	0,038
	Zn(II)	мг/дм ³	1	0,038	0,062	0,121	0,057
р. Ріка	Pb(II)	мг/дм ³	0,01	0,013	0,007	0,005	0,019
	Cu(II)	мг/дм ³	1	0,050	0,044	0,077	0,079
	Zn(II)	мг/дм ³	1	0,137	0,145	0,053	0,157



Результати вимірювання хімічного складу води природніх джерел м. Київ
(рожевим позначено перевищення ГДК вмісту елементів у пробах води,
жовтим – рівень ГДК)



	Показник	ГДК	Місяць вимірювання, 2019 р				Місяць вимірювання, 2020 р			
			Квітень	Липень	Жовтень	Січень	Квітень	Липень	Жовтень	Січень
 Феофанія. Джерело св. Пантелеймона	рН	8,5	7,50	7,60	7,47	7,56	7,4	7,7	7,7	7,6
	СЗ, мг/дм ³	1000	1562	1608	1586	1597	1530	1632	1586	1615
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	16,9	17,8	17,1	18,0	17,5	17,4	16,9	18,2
 Феофанія. Джерело «Сльоза Богородиці»	ХСК, мгО/дм ³	5	5,3	5,5	5,3	5,2	5,2	5,8	5,6	5,1
	Са, мг/дм ³	130	214	206	198	206	201	200	198	216
	Mg, мг/дм ³	80	90,	86	87	89	91	87	85	90
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	60	63	63	53	50	60	65	63
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
	Cu, мг/дм ³	1	0	0	0,01	0	0,002	0	0,003	0,006
	Ni, мг/дм ³	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	0	0	0	2•10 ⁻⁴	0	0	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Феофанія. Джерело «Сльоза Богородиці»	рН	8,5	7,61	7,44	7,77	7,40	7,3	7,7	7,8	7,8
	СЗ, мг/дм ³	1000	1647	1700	1633	1575	1705	1688	1580	1568
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	16,4	16,2	16,5	15,1	17,4	15,8	15	17,1
 Феофанія. Джерело «Сльоза Богородиці»	ХСК, мгО/дм ³	5	4,6	6,3	6,5	5,1	6,3	5,4	6,5	4,1
	Са, мг/дм ³	130	289	272	290	265	302	280	248	294
	Mg, мг/дм ³	80	27	31	22	23	32	22	28	29




	NO_3^- , мг/дм ³	50	39	51	37	39	50	45	56	35
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
	Cu, мг/дм ³	1	0	0	0	0	0,01	0	0,004	0,003
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	$1 \cdot 10^{-4}$
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01	0	0	0	0,009
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Феофанія. Джерело св. Михайла	pH	8,5	7,71	7,77	7,76	7,80	7,7	7,9	7,8	7,7
	СЗ, мг/дм ³	1000	413	400	392	426	387	397	374	438
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	6,6	6,6	6,5	6,5	6,7	6,3	6,6	6,6
	ХСК, мгО/дм ³	5	0,7	0,7	0,8	0,8	1	0,6	0,6	0,9
	Ca, мг/дм ³	130	92	98	84	95	95	82	98	98
	Mg, мг/дм ³	80	22	26	26	22	26	27	21	21
	NO_3^- , мг/дм ³	50	3	3	2	3	2,1	3,2	3	2,9
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,004	0,004	0
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	$1 \cdot 10^{-4}$
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,007	0	0,007	0,005
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Совки, вул. Кайсарова	pH	8,5	8,12	7,78	7,67	7,65	7,8	7,5	7,6	8,2
	СЗ, мг/дм ³	1000	581	549	579	563	505	500	544	620
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	9,5	9,7	9,4	9,5	9,1	8,7	8,5	10
	ХСК, мгО/дм ³	5	6,0	6,0	5,6	5,2	5,8	6,1	4,9	5
	Ca, мг/дм ³	130	138	136	140	130	131	129	136	141
	Mg, мг/дм ³	80	34	24	30	35	31	28	21	36
	NO_3^- , мг/дм ³	50	82	56	77	81	55	38	63	84
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,00	0,01	0,02	0,005	0,022	0	0,005


	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,003	0,002
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Джерело у парку «Солом'ян- ський»	pH	8,5	7,84	7,75	7,83	7,70	7,7	7,9	7,8	7,8
	СЗ, мг/дм ³	1000	1073	993	1023	1036	1023	991	1051	1080
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	14,9	15,5	15,0	14,5	14,2	15,6	14,5	15,1
	ХСК, мгО/дм ³	5	6,1	5,9	6,3	6,0	6,2	6,1	6,3	5,8
	Ca, мг/дм ³	130	163	169	150	150	145	167	162	177
	Mg, мг/дм ³	80	88	82	78	1	87	90	78	77
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	31	31	28	29	33	25	27	22
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,24	0,41	0,45	0,38	0,25	0,31	0,47	0,23
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,002	0,003
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,12	0,10	0,07	0,12	0,06	0,13	0,15	0,16
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Києво- Печерська Лавра. Джерело св. Антонія	pH	8,5	7,21	7,29	7,37	7,22	7,2	7,3	7,2	7,4
	СЗ, мг/дм ³	1000	1876	1947	1864	1951	1899	2005	1958	1803
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	21,5	21,3	22,0	21,8	21,9	21,2	21,1	22,2
	ХСК, мгО/дм ³	5	2,5	2,2	2,3	2,5	2,3	2,8	2,7	2,2
	Ca, мг/дм ³	130	282	277	276	281	282	282	275	280
	Mg, мг/дм ³	80	95,55	95,57	99,29	93,76	95	95	91	100
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	169	175	166	130	185	200	194	119
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,47	0,68	0,45	0,49	0,379	0,513	0,421	0,687
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	0,004	0	0,005
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0

	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,07	0,05	0,07	0,08	0,08	0,067	0,056	0,041
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,10	0,05	0,08	0,06	0,08	0,06	0,04	0,1
Фролівський монастир	pH	8,5	7,70	7,49	7,89	7,70	7,2	7,4	7,7	7,9
	СЗ, мг/дм ³	1000	1539	1561	1564	1547	1589	1558	1492	1577
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	17,7	18,0	17,5	17,9	18	18,1	17,4	17,9
	ХСК, мгО/дм ³	5	9,4	8,7	8,5	9,0	9,2	8,4	9,5	9,2
	Ca, мг/дм ³	130	244	246	244	247	246	248	244	246
	Mg, мг/дм ³	80	68	64	65	69	69	69	63	68
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	128	129	116	120	115	113	142	154
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,28	0,22	0,37	0,51	0,519	0,462	0,381	0,216
	Cu, мг/дм ³	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,008	0,005
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,005	0,006	0,006	0,003
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	4•10 ⁻⁴	7•10 ⁻⁴	2•10 ⁻⁴	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,13	0,13	0,12
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	0,003	0,003	0,002
Джерело у парку «Нивки»	pH	8,5	6,99	7,03	7,07	7,12	7,3	7,3	7,3	6,9
	СЗ, мг/дм ³	1000	752	768	753	802	625	789	734	807
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	11,1	12,4	11,4	11,1	10,8	12,5	11,8	11,7
	ХСК, мгО/дм ³	5	5,2	4,8	5,0	4,8	4,9	5,1	5,5	4,7
	Ca, мг/дм ³	130	179	178	184	173	172	186	186	184
	Mg, мг/дм ³	80	36	29	30	3	25	39	31	30
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	44	41	44	44	38	44	45	45
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003	0,003	0,002	0
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1•10 ⁻⁴	1•10 ⁻⁴
Mn, мг/дм ³	0,05	0,09	0,06	0,08	0,07	0,07	0,09	0,03	0,04	

	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Сирець. Джерело в парку «Дубки»	pH	8,5	7,62	7,60	7,51	7,66	7,5	7,7	7,6	7,5
	СЗ, мг/дм ³	1000	381	283	339	378	357	263	287	381
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,3	5,5	5,9	5,9	6	5	5,6	5,6
	ХСК, мгО/дм ³	5	2,0	2,6	2,2	2,3	2	3,6	2,8	2,5
	Ca, мг/дм ³	130	85	89	84	82	92	74	86	86
	Mg, мг/дм ³	80	16,78	16,96	16,40	16,28	17	16	16	16
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	29	42	33	36	26	30	24	53
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,61	0,67	0,68	0,60	0,596	0,843	0,715	0,861
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,001	0,002
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1•10 ⁻⁴	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,07	0,07	0,07	0,08	0,078	0,075	0,073	0,063
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,03	0,04	0,09
Сирець. Джерело на вул. Сальського	pH	8,5	7,72	7,63	7,52	7,57	7,4	7,6	7,4	7,8
	СЗ, мг/дм ³	1000	850	876	873	856	823	854	860	910
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	10,0	12,0	11,0	11,7	10,7	11,4	9,9	12,1
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,6	1,5	1,5	1,6	1,3	1,6	1,7	1,5
	Ca, мг/дм ³	130	175	191	185	177	175	182	180	192
	Mg, мг/дм ³	80	29,25	24,57	28,62	29,92	24	28	25	30
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	105	98	123	61	68	59	81	124
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,17	0,18	0,19	0,18	0,13	0,16	0,21	0,24
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,003	0,002	0,003
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,06	0,05	0,02	0,06	0	0,069	0,07	0
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Сирець.	pH	8,5	7,45	7,41	7,28	7,38	7,4	7,5	7,3	7,2



Джерело на вул. Сирецькій	СЗ, мг/дм ³	1000	865	882	883	863	863	877	880	886
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	11,3	11,3	11,7	10,6	12,1	12,1	10,3	10,3
	ХСК, мгО/дм ³	5	5,4	7,0	5,6	6,6	5,4	7,5	6,2	6,1
	Ca, мг/дм ³	130	171	197	204	199	208	206	156	156
	Mg, мг/дм ³	80	25	27	23	27	21	22	30	30
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	127	142	117	101	90	103	87	154
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,27	0,35	0,30	0,24	0,27	0,36	0,23	0,34
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	0,003	0,003	0,003
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1•10 ⁻⁴	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,16	0,17	0,12	0,10	0,086	0,124	0,176	0,114
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Пуща-Водиця. 1-ша лінія	pH	8,5	6,47	6,48	6,42	6,40	6,5	6,5	6,5	6,4
	СЗ, мг/дм ³	1000	126	130	125	129	103	135	124	110
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,2	1,3	1,1	1,4	1,2	1,2	1,4	1,1
	Ca, мг/дм ³	130	17	16	17	16	16	16	17	17
	Mg, мг/дм ³	80	5,24	5,96	5,17	5,25	6,1	6,1	5,3	4,3
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	11	8	11	8	11,3	10	12,5	7,5
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,22	0,27	0,23	0,27	0,27	0,24	0,22	0,25
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,003	0,001
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,045	0,07	0,053	0,067
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Пуща-Водиця. 4-та лінія	pH	8,5	6,57	6,55	6,77	6,75	6,5	6,7	6,7	6,8
	СЗ, мг/дм ³	1000	342	360	344	332	322	385	377	353
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	3,5	3,2	3,4	3,5	3,3	3,5	3,3	3,1



	мг-екв/дм ³									
	ХСК, мгО/дм ³	5	2,1	4,7	4,4	2,6	2,3	1,9	3,8	4,7
	Ca, мг/дм ³	130	50	45	53	46	50	54	50	44
	Mg, мг/дм ³	80	11	11	11	10	10	9,7	10	10,9
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	45	47	46	45	44	48	46	44
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,01	0,01	0,02	0,005	0,005	0,02	0,02
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003	0	0	0
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1•10 ⁻⁴	1•10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,052	0,070	0,064	0,041
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Пуца-Водиця. 13-та лінія	pH	8,5	6,59	6,50	6,60	6,59	6,5	6,5	6,6	6,6
	СЗ, мг/дм ³	1000	437	400	401	408	390	438	398	403
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	4,0	4,0	4,1	4,1	3,9	4,2	4,2	4,1
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,1	1,2	1,0	0,8	1,2	1,4	1,1	0,8
	Ca, мг/дм ³	130	62	62	62	62	62	62	62	62
	Mg, мг/дм ³	80	11	10	12	14	10	13	13	12,2
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	44	44	45	44	45	44	45	45
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	0	0	0,002
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,005	0	0
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Пуца-Водиця. 14-та лінія (праве)	pH	8,5	6,55	6,69	6,52	6,59	6,6	6,7	6,5	6,6
	СЗ, мг/дм ³	1000	260	265	251	250	249	264	255	270
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	2,66	2,65	2,69	2,69	2,6	2,7	2,7	2,6
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,25	1,27	1,24	1,27	1,3	1,2	1,3	1,1


	Ca, мг/дм ³	130	39	37	39	40	40	36	40	40
	Mg, мг/дм ³	80	10	9	8	9	7	11	8	8
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	16,48	16,13	16,23	16,29	17	16	16	16
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,21	0,16	0,21	0,20	0,19	0,25	0,21	0,16
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,08	0,08	0,17	0,15	0,17	0,08	0,077	0,061
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Пуца-Водиця. 14-та лінія (ліве)	pH	8,5	6,89	6,89	6,76	6,72	6,7	6,9	6,6	6,7
	СЗ, мг/дм ³	1000	278	266	282	273	263	283	272	280
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	3,40	3,38	3,25	3,20	3,2	3,3	3,4	3,2
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,22	1,07	1,07	1,08	1	1,2	1,3	1
	Ca, мг/дм ³	130	51,29	48,43	51,46	48,95	48	50	52	48
	Mg, мг/дм ³	80	9,89	9,90	9,92	9,81	9,7	10	10	10
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	10,88	10,39	12,21	10,59	12	12,5	9,5	12,2
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,81	0,78	0,81	0,76	0,78	0,82	0,75	0,8
	Cu, мг/дм ³	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,19	0,21	0,17	0,21	0,18	0,16	0,2	0,22
	Cr, мг/дм ³	0,05	0,05	0,09	0,07	0,08	0,04	0,06	0,09	0,05



Додаток И


Результати аналізу хімічного складу води із бюветів м. Києва
(рожевим позначено перевищення ГДК вмісту елементів у пробах води,
жовтим – рівень ГДК)

Адреса та фото	Показник	ГДК	Місяць вимірювання, 2019 р.				Місяць вимірювання, 2020 р.			
			Квітень	Липень	Жовтень	Січень	Квітень	Липень	Жовтень	Січень
Вул. Героїв Оборони	pH	8,5	7,46	7,55	7,02	6,9	6,98	7,05	7,25	6,98
	СЗ, мг/дм ³	1000	394	372	336	440	421	360	357	380
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,2	6,05	5	4,6	4,9	5,4	5,9	5,8
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,4	1,3	1,21	1,98	1,74	1,25	1,67	1,59
	Ca, мг/дм ³	130	86	108	14,18	58	53,8	77,8	105,0	87,7
	Mg, мг/дм ³	80	9,7	7,8	36,48	14,6	14,9	26,7	27,5	21,7
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	1,6	1,52	6,1	1,49	3,21	1,57	4,52
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,15	0,14	0,1	0	0,11	0,02	0,05	0,14
	Cu, мг/дм ³	1	0,002	0	0,005	0,003	0,004	0	0	0,004
	Ni, мг/дм ³	0,02	0	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	0	0	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,09	0,21	0,02	0,03	0,09	0,14	0,11	0,19
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Вул. Василь- ківська, 46	pH	8,5	7,5	7,61	7,1	7	7,25	7,44	7,43	7,02
	СЗ, мг/дм ³	1000	351	368	311	300	335	331	366	336
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,4	5,8	1	6	2,8	3,3	2,8	2,8
	ХСК, мгО/дм ³	5	2,1	2,43	2,29	1,97	2,13	2,28	2,38	2,06
	Ca, мг/дм ³	130	92,4	91	10,02	88,84	75,8	90,7	28,9	19,9

	Mg, мг/дм ³	80	9,59	15	6,08	19,04	14,9	9,8	16,8	12,6
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	1,69	2,7	1,32	1,4	2,32	2,29	2,14	1,75
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,1	0,12	0	0,08	0,10	0,04	0,03	0,06
	Cu, мг/дм ³	1	0,002	0,001	0,02	0,007	0,007	0,014	0,019	0,011
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,004	0,001	0,007	0,001	0,004	0,004	0,005	0,001
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	0	0	1·10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,09	0,21	0,04	0,11	0,13	0,09	0,08	0,12
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Вул. Героїв Війни, 16	pH	8,5	6,87	7,1	6,9	7,01	6,88	7,05	6,89	6,94
	СЗ, мг/дм ³	1000	340	320	247	500	444	314	487	379
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	0,31	0,197	0,2	0,275	0,3	0,3	0,2	0,2
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,3	0,87	1,09	1,01	0,90	1,26	1,02	1,00
	Ca, мг/дм ³	130	2,1	1,2	2	0	1,3	1,8	1,9	1,7
	Mg, мг/дм ³	80	2,49	1,67	1,22	3,34	1,4	3,2	2,7	2,8
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0	0,01	0	0,09	0,08	0,03	0,08	0,03
	Cu, мг/дм ³	1	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,004	0,002	0,008	0,006	0,004	0,003	0,005	0,005
	Cd, мг/дм ³	0,001	2·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	0	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,021	0,022	0,019	0,016
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Вул. Маршала Якубов- ського	pH	8,5	7,38	7,62	7,06	7,24	7,61	7,23	7,25	7,35
	СЗ, мг/дм ³	1000	359	358	300	300	322	341	324	324
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,7	5,6	5,8	5,98	5,9	6,0	5,7	5,9
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,2	1,34	1,01	1,19	1,31	1,20	1,12	1,22
	Ca, мг/дм ³	130	92	100	98,2	90,68	97,1	93,5	95,9	99,9

	Mg, мг/дм ³	80	13,4	7,2	10,94	17,6	14,5	8,4	15,7	13,7
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,23	0,2	0,19	0,17	0,18	0,20	0,17	0,22
	Cu, мг/дм ³	1	0,003	0	0,01	0,007	0,003	0,005	0,007	0,004
	Ni, мг/дм ³	0,02	0	0,001	0,005	0,004	0,002	0	0	0,005
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	0	1·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,03	0,22	0,01	0,08	0,08	0,03	0,08	0,16
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Пр-т Академіка Глушкова, 39	pH	8,5	7,37	7,53	6,98	7,43	7,28	7,24	7,14	7,51
	СЗ, мг/дм ³	1000	365	382	544	440	524	473	479	480
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,6	5,7	5,9	5,7	5,7	5,8	5,8	5,7
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,5	2,4	4,1	1,94	3,77	2,15	3,53	2,48
	Ca, мг/дм ³	130	91	100	93	89,68	92,9	98,1	92,8	93,9
	Mg, мг/дм ³	80	9,7	8,4	15,30	14,89	9,1	13,3	12,1	11,1
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,2	0,3	0,24	0,27	0,26	0,27	0,21	0,24
	Cu, мг/дм ³	1	0,003	0,001	0,003	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001
	Ni, мг/дм ³	0,02	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,14	0,21	0,17	0,09	0,10	0,17	0,12	0,21
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Пров. Жуковсь- кого, 12	pH	8,5	7,6	7,67	6,99	7,2	7,08	7,00	7,20	7,32
	СЗ, мг/дм ³	1000	293	341	347	260	321	277	271	344
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,2	5	5,5	5,212 5	5,4	5,4	5,2	5,1
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,1	1,7	1,22	1,62	1,22	1,16	1,67	1,55
	Ca, мг/дм ³	130	82	83	88,18	83,67	87,4	85,5	84,8	82,1

	Mg, мг/дм ³	80	13	10,2	13,38	12,61	12,7	12,7	11,9	11,9
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,12	0,11	0,1	0,13	0,10	0,13	0,11	0,12
	Cu, мг/дм ³	1	0	0	0,006	0	0,005	0,004	0,000	0,005
	Ni, мг/дм ³	0,02	0	0,001	0,009	0,004	0,007	0,005	0,003	0,006
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	0	0	0	0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,06	0,09	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09	0,08
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Вул. Солом'янська – вул. Пироговського	pH	8,5	7,51	7,38	7,26	7,55	7,42	7,41	7,50	7,27
	СЗ, мг/дм ³	1000	370	330	365	340	363	368	358	343
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,31	5,5	5,4	5,36	5,5	5,4	5,4	5,3
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,1	1,38	1,22	1,6	1,51	1,21	1,29	1,21
	Ca, мг/дм ³	130	94,3	90	78,15	88,18	79,7	79,2	83,6	90,6
	Mg, мг/дм ³	80	7,35	10,8	3,65	11,7	8,1	10,0	10,0	8,2
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,09	0,01	0,12	0,008	0,10	0,11	0,01	0,03
	Cu, мг/дм ³	1	0,005	0,002	0,005	0,002	0,003	0,004	0,002	0,004
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,003	0,002	0,005	0,002	0,004	0,005	0,002	0,002
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,05	0,02	0,02	0,1	0,04	0,042	0,08	0,06
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Вул. Новопирогівська, 33	pH	8,5	7,85	7,57	7,5	7,6	7,73	7,82	7,63	7,62
	СЗ, мг/дм ³	1000	350	316	302	280	314	343	319	317
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	3,95	4,6	5,3	4	4,3	4,0	4,4	4,3
	ХСК, мгО/дм ³	5	1	1,06	0,84	0,92	1,06	0,85	0,88	0,90
	Ca, мг/дм ³	130	48,1	52,1	54,11	48,6	53,5	48,8	51,0	52,4

	Mg, мг/дм ³	80	18,8	24,31	30,62	19,14	21,1	19,0	19,5	19,8
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,25	0,17	0,12	0,1	0,15	0,11	0,17	0,21
	Cu, мг/дм ³	1	0,003	0,005	0,005	0,005	0,003	0,004	0,004	0,005
	Ni, мг/дм ³	0,02	0	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001
	Cd, мг/дм ³	0,001	0	1·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	0	1·10 ⁻⁴	0,000 0	1·10 ⁻⁴	0,000 0
	Mn, мг/дм ³	0,05	0	0,01	0,02	0,01	0,005	0,013	0,009	0,007
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Пр-т Науки, 23	pH	8,5	7,35	7,4	7,67	7,7	7,63	7,43	7,52	7,53
	СЗ, мг/дм ³	1000	350	310	400	300	319	371	346	372
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	4,4	4,6	4,75	4,51	4,4	4,6	4,7	4,6
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,64	1,7	1,9	1,84	1,89	1,68	1,86	1,87
	Ca, мг/дм ³	130	61,2	59,7	63,57	74,31	61,1	73,2	70,5	70,8
	Mg, мг/дм ³	80	16,36	19,70	19,17	9,75	17,3	10,3	11,7	18,6
	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe, мг/дм ³	0,2	0,12	0,16	0,18	0,1	0,14	0,15	0,12	0,13
	Cu, мг/дм ³	1	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,004	0,003	0,002
	Ni, мг/дм ³	0,02	0,001	0,001	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
	Cd, мг/дм ³	0,001	2·10 ⁻⁴	0	1·10 ⁻⁴	0	1·10 ⁻⁴	0	0	1·10 ⁻⁴
	Mn, мг/дм ³	0,05	0,11	0,09	0,14	0,06	0,13	0,08	0,11	0,14
	Cr, мг/дм ³	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Вул. Академіка Богомольця, 7/14	pH	8,5	6,85	6,93	7,26	7,4	7,23	7,27	7,30	6,92
	СЗ, мг/дм ³	1000	463	336	290	260	462	304	310	320
	Жорсткість, мг-екв/дм ³	7	5,8	5,71	6	5,58	6,0	6,0	5,8	5,6
	ХСК, мгО/дм ³	5	1,42	1,74	1,35	1,62	1,50	1,72	1,49	1,55

