

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КРИТСЬКА ЯНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 004.67: 504.064.36,
627.15:502/504(045)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ТА
ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ
ВОД НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

122 – Комп'ютерні науки
шифр і назва спеціальності

Інформаційні технології
галузь знань

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних проваджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.


підпис

Критська Яна Олександрівна

Науковий керівник Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,
доктор технічних наук, професор

Севєродонецьк – 2021

АНОТАЦІЯ

Критська Яна Олександрівна. Інформаційна технологія розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 “Комп’ютерні науки”. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково-технічного завдання розробки інформаційної технології для системи моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей (IoT), удосконалення моделей і методів які створять основи предметно-орієнтованої інформаційної технології та дозволять реалізувати процеси підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні систем моніторингу водних об’єктів, з можливістю інтеграції в систему моніторингу поверхневих вод.

Досягнення мети дослідження дозволяє:

- забезпечити процеси прийняття рішень по створенню мережі моніторингу поверхневих вод, зокрема розміщенню IoT приладів за трьома вимірами враховуючи глибину їх розташування;
- забезпечити обґрунтований вибір компонентного складу датчиків, використовуваних в IoT приладах та станціях моніторингу води;
- створити концептуальну основу для розробки системи моніторингу води в режимі реального часу на основі технології IoT.

Результатом вирішення наукового завдання є підвищення ефективності, обґрунтованості та об’єктивності процесу прийняття рішень по розробці та впровадженню систем моніторингу водних об’єктів, що розбудовуються на основі інтернету речей.

Об’єктом дослідження є процеси забезпечення підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей.

Предметом дослідження є моделі та метод інформаційної технології

розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей.

У роботі виконано аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей. Виділено особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод, розглянуто передумови використання IoT для моніторингу річок та систем розподілу води.

За результатами аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку систем моніторингу водних об'єктів обґрунтовано необхідність створення ефективних моделей, методів та інформаційних технологій, здатних забезпечити підтримку прийняття рішень пов'язаних з розробкою та використанням систем моніторингу поверхневих вод.

Обґрунтовано проведення дисертаційних досліджень в контексті створення нових, адаптації та інтеграції існуючих моделей, методів та інформаційних технологій на основі інтернету речей.

Обрані методи дослідження базуються на методах теорії множин, теорії графів, теорії матриць, принципі субмодулярності, жадібних евристичках, методу імітації відпалу, максимізації ентропії, діаграмах Вороного та триангуляції Делоне, які використовувались при розроблянні технології для розміщення датчиків та IoT пристроїв в системі моніторингу; теорії ймовірностей, методах описової статистики, варіаційних обчисленнях, кореляційному аналізі, що використовувались при розроблянні методології обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм; методу головних компонент, факторному аналізі, що використовувались при розроблянні методу обробки даних для визначення набору датчиків в IoT-пристроях контролю якості води; SCAI-граф, mashup методології проектування IoT систем, прототипування, моделі компресійного вимірювання що використовувались при створенні інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT.

Удосконалено модель мережі IoT датчиків, за рахунок компоненти урахування глибини занурення приладів IoT, що дозволяє врахувати наявність

підводних вузлів і визначати місця розташування поверхневих та підводних вузлів.

Вперше запропоновано метод розташування датчиків, який на відміну від відомих, поєднує технологію розташування на основі ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування. Метод базується на евристиці з жадібним пошуком, що використовує властивості ентропії щодо максимальності, субадитивності та двозначності, при цьому ентропія визначається як відношення довжини зондування до довжини водотоку і максимізується на мережевий рівень.

Дістала подальшого розвитку технологія обробки даних на основі автоматичного вилучення ознак шляхом застосування методу головних компонент, для вирішення задачі визначення типів датчиків, використовуваних в IoT пристроях контролю якості води, що дозволяє виконати обґрунтований вибір параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків.

Удосконалено методологію обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, шляхом систематизації процесів комплексного аналізу і прогнозування, що дозволяє сформулювати і реалізувати системний підхід до оцінювання залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів, характерних для досліджуваної ділянки, та проводити прогнозування змін гідрохімічних показників вод в довготривалій перспективі.

Дістала подальшого розвитку технологія проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT, за рахунок адаптації технології SCAI та mash-методології до задач предметної області, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень щодо створення базової конфігурації IoT системи, починаючи з ціннісної пропозиції, що є особливо важливим для експертів предметних областей, які не стосуються інформаційних та комунікаційних технологій.

Усі теоретичні розробки дисертації доведено до конкретних інженерних

методик та алгоритмів із застосуванням запропонованої інформаційної технології розробки і впровадження системи моніторингу поверхневих вод.

На основі запропонованих та розроблених моделей, методів та інформаційних технологій створено апаратні засоби та програмні реалізації аналітичних та імітаційних моделей.

Розроблені моделі, методи, інформаційне та програмне забезпечення використані при виконанні науково-дослідних проектів “Дослідження стратегій та механізмів прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами” 12.2016-07.2020, (№ ДР 0116U005784), “Проектування системи моніторингу та контролю водних об’єктів на основі технології інтернет речей” 01.2020-12.2023, (№ ДР 0120U100421), м. Сєвєродонецьк; при виконанні міжнародного проекту Європейського Союзу ERASMUS+ ALIOT 573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP “Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications”; при вивченні дисциплін “ІТ для моніторингу та моделювання”, “ІТ аудит і управління ризиками на підприємстві”, “Програмна інженерія та управління ІТ проектами” у навчальному процесі Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Результати тестового впровадження на підприємствах підтверджують, що запропоновані рішення щодо організації системи моніторингу, передачі, зберігання та обробки даних за допомогою ІоТ дозволяють краще зрозуміти джерела різних забруднювачів води, наслідки політики контролю води та вплив різних речовин у джерелах води.

Матеріали дисертації достатньо повно викладені у 17 друкованих роботах: з них 5 статей у виданнях, які зазначені в переліку фахових видань України з технічних наук, у тому числі 1 стаття у фаховому виданні іншої держави, що входить до Європейського Союзу, 2 статті в працях англомовних конференцій, що включено до бази даних Scopus, 10 тез доповідей всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Ключові слова: інформаційна технологія, інтернет речей, моніторинг, поверхневі води, водний об’єкт, підтримка прийняття рішень, аналіз даних.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Праці, які відображають основні наукові результати дисертації

Статті у періодичних наукових виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу

[1] Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Velykzhanin A., Barbaruk L., Suvorin O., Shorohov M. “Emerging Tools for Design and Implementation of Water Quality Monitoring Based on IoT”, *Complex Systems Informatics and Modelling Quarterly*. Published online by RTU Press, <https://csimq-journals.rtu.lv> Article 138, Issue 24, September/October 2020, pp. 1-14, 2020 <https://doi.org/10.7250/csimq.2020-24.01>.

Статті у наукових фахових виданнях України

[2] Krytska Y.O., Biloborodova T.O., Skarga-Bandurova I.S. “Data mining techniques for IoT analytics”. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. Северодонецьк : СНУ ім. В. Даля*, № 5 (253), с. 53-62. 2019. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-253-5-53-62.

[3] Критська Я.О. “Моніторинг та раціональне використання водних ресурсів у реаліях сьогодення”. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. / Головний редактор О.І. Бондар. – Київ: ДЕА, № 1(24). Т. 2, с. 160-163. 2019. DOI: 10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-31.

[4] Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С., Топчій А.О. “Методи і моделі збору та обробки даних в системах моніторингу водних об’єктів заснованих на IoT”. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*, № 6 (247), с. 205-209. 2018.

[5] Критська Я.О., Великжанін А.Ю., Скарга-Бандурова І.С., Суворін О.В. “Методологія розробки системи онлайн моніторингу поверхневих вод”. *Наукові вісті Далівського університету: Електронне наукове фахове видання*, № 13. 2017. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_13_6

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

[6] Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Shorohov M., Suvorin O., Barbaruk L., Ozheredova M. “Towards Development IoT-based Water Quality Monitoring

System”, *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, pp. 140-145, 2019. doi: 10.1109/FiCloudW.2019.00038 (*Scopus*).

[7] Y. Krytska, I. Skarga-Bandurova, A. Velykzhanin “IoT-based Situation Awareness Support System for Real-Time Emergency Management.” *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2017 9th IEEE International Conference. IEEE, 2017. Vol. 2*, pp. 955-960. 2019. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095228. (*Scopus*).

[8] Skarga-Bandurova I., Krytska Y.O., Barbaruk L.V. “Application of Internet of Things for long term water quality monitoring”, *Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси дев’ятнадцятої міжнар. наук.-техн. конф.*, Харків: НТУ “ХПІ”, С. 77, 2019.

[9] Skarga-Bandurova I., Krytska Y. “IoT-based analytics in water quality monitoring system”. *Сучасні технології в освіті та науці: матеріали міжнар. конф. (Севєродонецьк, 5–7.03.2019 р.)* – Севєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, с. 102-104. 2019.

[10] Krytska Y., Biloborodova T., Skarga-Bandurova I. “Real-Time Data Analytics for the Internet of Things”. *In: Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the III International Conference TACSIT-2019, May 8-9 2019, Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, pp. 37-39. 2019.

[11] Критська Я.О., Скарґа-Бандурова І.С. “Модель реалізації взаємодії різних IoT платформ для моніторингу водних об’єктів”. *Комп’ютерні інтелектуальні системи та мережі. Матеріали XII Всеукраїнської науково практичної WEB конференції аспірантів, студентів та молодих вчених (20-22 березня 2019 р.)* – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, с. 122-124. 2019.

[12] Krytska Y., Stewasher J. “Integrated Water Resources Management System”. *Сучасні технології в освіті та науці: матеріали міжнар. конф. (Севєродонецьк, 19-22.02.2018 р.)* – Севєродонецьк: СНУ ім. В.Даля, с. 47-48. 2018.

[13] Критська Я.О., Топчій А.О. “Засоби он-лайн моніторингу поверхневих вод”. *IT-Ідея – 2018: збірник науково-практичних праць* Сєверодонецьк : Вид-во Східноукр. ун-ту ім. В. Даля, с. 14-15. 2018.

[14] Топчій А.О., Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С. “Моделі виявлення випадків забруднення води на основі аномалій”. *Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, 23-27 квітня 2018 р., м. Рубіжне / А. С. Бушуєв., Ю. А. Завойських. – Рубіжне: видавець О. Зень, с. 278-279. 2018.*

[15] Сіряк Р.В., Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С. “Прогнозування рівня збіднення води киснем з використанням модифікацій моделі Стрітера-Фелпса”. *Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the II International Conference TACSIT-2017, May 12-13, 2017. – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. pp. 14-20. 2017.*

[16] Критська Я.О., Сіряк Р.В., Скарга-Бандурова І.С. “Система моніторингу водних об’єктів на основі IoT”. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017р.: у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». с. 92. 2017.*

[17] Критська Я.О., Сіряк Р.В., Великжанін А.Ю. “Дослідницький проект The Smart Water”. *IT-Ідея – 2016: збірник науково-практичних праць* Сєверодонецьк: Вид-во Східноукр. ун-ту ім. В. Даля, с. 7. 2016.

ABSTRACT

Yana Krytska. Information technology of development and implementation of the surface water monitoring system based on the Internet of Things. – Manuscript copyright.

Thesis on competition of scientific degree of Doctor of Philosophy by specialty 122 – Computer Science. – Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, 2021.

The dissertation is devoted to the enhancing models and methods that will create the basis of subject-oriented information technology and allow to implement decision support processes in the development and implementation of monitoring systems for water bodies.

The main scientific results are:

(1) The model of the IoT sensor network has been improved, due to the depth of immersion component for IoT devices, which allows to take into account the presence of underwater nodes and determine the location of both surface and underwater nodes.

(2) For the first time, a method of sensor placement was proposed, which, unlike the known ones, combines entropy-based placement technology with the procedure of efficient reuse of sensors and allows taking into account the parameters of the location depth.

(3) The technology of data processing based on automatic extraction of features by applying the principal component analysis for determining the types of sensors used in IoT water quality control devices, which allows making a reasonable choice of parameters capable of detecting changes in water quality.

(4) The methodology of processing long-term statistical data of surface water quality analysis has been improved by systematizing the processes of complex analysis and forecasting. This allows formulating and implementing a systematic approach to assessing the dependences and mutual influence of reservoir quality indicators and factors characteristic of the study area and forecasting changes in hydrochemical water parameters in the long run.

(5) The technology of designing a surface water monitoring system based on IoT has been further developed by adapting SCAI graphs and mash-methodology to the tasks of the subject area. This allows to increase the validity of decision-making to create a basic IoT system configuration, starting with the value proposition, which is especially important for experts in subject areas not related to information and communication technologies.

Key words: information technology, Internet of Things, monitoring, surface waters, water body, decision support, data analysis.

ЗМІСТ

	10
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	15
ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДНОГО МОНІТОРИНГУ	24
1.1 Аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей	24
1.1.1 Особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод	24
1.1.1.1 Передумови використання IoT для моніторингу річок	25
1.1.1.2 Передумови використання IoT для моніторингу систем розподілу води	27
1.1.2 Аналіз можливостей використання IoT в гідрологічній області	29
1.2 Аналіз підходів до розташування датчиків та IoT пристроїв системах моніторингу поверхневих вод	31
1.3 Визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води	37
1.4 Особливості обробки довготривалих даних моніторингу	43
1.5 Аналіз можливостей розробки та впровадження інформаційної технології для системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT	45
1.6 Постановка наукового завдання та обґрунтування методики досліджень	49
1.6.1 Загальна наукова задача	49
1.6.2 Часткові наукові завдання	50
1.6.3 Методика досліджень	50
Висновок до розділу 1	52
Література до розділу 1	53
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЇ РОЗМІЩЕННЯ ДАТЧИКІВ ТА IoT ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВОДИ	63
2.1 Загальна постановка задачі розміщення датчиків системи моніторингу поверхневих вод	63

	11
2.2 Моделі розташування датчиків у водорозподільній системі річкових басейнів	65
2.2.1 Модель мережі датчиків якості води без урахування глибини	65
2.2.2 Модель мережі розташування датчиків з урахуванням підводних вузлів	68
2.3 Методи розташування датчиків у системі моніторингу води без урахування глибини	71
2.3.1 Метод розміщення на основі максимального покриття з використанням жадібних евристик	71
2.3.2 Розташування однотипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини	73
2.3.2.1 Базові припущення	73
2.3.2.2 Уточнення задачі для розташування датчиків на основі ентропії	73
2.3.2.3 Процедура реалізації методу розташування однотипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини	75
2.3.3 Вирішення задачі перерозподілу датчиків в моніторинговій мережі	78
2.4 Метод розташування датчиків у системі моніторингу води з урахуванням глибини	81
2.5 Приклад реалізації методу розташування однотипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини	85
Висновки до розділу 2	93
Література до розділу 2	93
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАБОРУ ВИМІРЮВАНИХ ПАРАМЕТРІВ В ІОТ-ПРИСТРОЯХ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД	96
3.1 Постановка задачі визначення набору параметрів для IoT приборів контролю якості води	96
3.2 Вибір технології обробки даних моніторингу для визначення наборів параметрів якості води	97

	12
3.3 Удосконалена технологія обробки даних для вибору параметрів для IoT приборів контролю якості води	100
3.4 Приклад реалізації технології визначення набору параметрів для IoT приборів контролю якості води	108
3.4.1 Вихідні дані	108
3.4.2 Аналіз набору показників сольового складу	109
3.4.3 Аналіз набору показників вмісту органічних речовин	114
3.4.4 Аналіз набору показників вмісту біогенних елементів	118
3.4.5 Аналіз набору показників кисневого режиму	123
3.4.6 Аналіз блоку показників трофо-сапробіологічного стану та інших комплексних показників за групами	127
Висновки до розділу 3	130
Література до розділу 3	131
РОЗДІЛ 4. МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ОСНОВІ ДАНИХ ДОВГОСТРОКОВОГО МОНІТОРИНГУ	134
4.1 Структура та основні етапи методології комплексного аналізу і прогнозування поверхневих вод на основі довгострокового моніторингу	134
4.1.1 Попередній аналіз даних з метою визначення впливу температури повітря на температуру води	137
4.1.2 Попередній аналіз даних з метою визначення впливу температури води показники її фізико-хімічного складу	140
4.1.3 Оцінювання наявності статистичної відмінності між окремими підмножинами даних та визначення маркерних показників	140
4.1.4 Визначення факторів впливу	143
4.1.5 Перевірка впливу фактору сезонності	144
4.1.6 Реалізація відображення календарної сезонності та визначити залежності між двома факторами впливу	144
4.1.7 Динамічне корегування даних з урахуванням сезонності та факторів впливу	146

	13
4.1.8 Розробка моделей прогнозу показників якості води на основі наявної бази довгострокових даних, з урахуванням сезонної нерівномірності	146
4.1.9 Комбінована модель прогнозування та визначення впливу підвищення температури на основні показники поверхневих вод у період до 2050 року	152
4.2 Приклад реалізації методології комплексного аналізу змін фізико-хімічних показників поверхневих вод на основі даних довгострокового моніторингу	155
4.2.1 Вихідні дані для розрахунків	156
4.2.2 Основні етапи реалізації методології	157
4.2.2.1 Визначення залежностей температури поверхневих вод від температури повітря на в рядах даних довгострокових спостережень	157
4.2.2.2 Визначення впливу температури води на показники хімічного складу води	161
4.2.2.3 Визначення маркерних показників	164
4.2.2.4 Визначення факторів впливу	168
4.2.2.5 Перевірка впливу фактору сезонності на маркерні показники	176
4.2.2.6 Відображення календарної сезонності та визначити залежності між двома факторами впливу	178
4.2.2.7 Корегування даних, з урахуванням сезонності та факторів впливу	180
Висновки до розділу 4	180
Перелік літератури до розділу 4	182
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ОСНОВІ ІОТ	184
5.1 Стратегії проектування системи моніторингу якості поверхневих вод на основі ІоТ	184

	14
5.1.1 SCAI-граф і основні фази технічної стратегії IoT системи моніторингу поверхневих вод	184
5.1.2 Методологія розробки та впровадження системи моніторингу вод	189
5.2 Базові елементи технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT	191
5.2.1 Проектування системи	192
5.2.1.1 Ідентифікація змінних	192
5.2.1.2 Розробка загальної архітектури системи	198
5.2.2 Розробка інструментів для доступу до даних у реальному часі	199
5.2.2.1 Проектування базової конфігурації станцій моніторингу води	199
5.2.2.2 Спосіб реалізації взаємодії різних IoT платформ	202
5.2.3 Інструменти обробки та візуалізації даних	205
5.3 Приклад реалізації запропонованої технології	208
5.3.1 Архітектура системи	209
5.3.2 Пристрій IoT	211
5.3.3 Програмне забезпечення обробки та передачі даних	213
5.3.4 Інформаційна панель	216
5.3.5 Аналіз якості води	216
5.4 Оцінка ефективності впровадження	218
Висновки до розділу 5	220
Література до розділу 5	221
ВИСНОВКИ	225
ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	227
ДОДАТОК Б. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ.	230
ДОДАТОК В.	238
ДОДАТОК Г.	319
ДОДАТОК І.	344
ДОДАТОК Д.	370

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БСК	біохімічне споживання кисню
БС	базова станція
ЗОВ	загальний обсяг органічного вуглецю
ЗР	зважені речовини (Suspended substances)
ІТ	інформаційна технологія
ОВП	окисно-відновний потенціал
ПАР	Поверхнево-активні речовини (Surface-active substances)
РК	розчинний кисень
СЗ	сухий залишок (dry residuals)
СППР	система підтримки прийняття рішень
ХСК	хімічне споживання кисню
ЯВ	якірний вузол
AR	AutoRegressive (Авторегресійна модель)
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (авторегресія умовної гетероскедастичності)
ARIMA	AutoRegressive Integrated MovingAverage
DO	Dissolved Oxygen (розчинений кисень)
EPA	US Environmental Protection Agency
GPS	Global Positioning System
GARCH	Generalized ARCH
IoT	Internet of Things (Інтернет речей)
MA	Moving Average (ковзне середнє)
ORP	Oxidation-Reduction Potential (окисно-відновний потенціал)
PC	Principal Component (головний компонент)
PCA	Principal Component Analysis (метод головних компонентів)
RSS	Received Signal Strength (потужність прийнятого сигналу)
TOC	Total Organic Carbon (загальний обсяг органічного вуглецю)
WFD	Water Framework Directive
WQI	Water Quality Index (індекс якості води)
WSN	Wireless Sensor Network

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. З початку свого існування люди змінюють природне середовище. Однак, лише за останні 60 років масштаби людського впливу набули драматичних обсягів [3]. Протягом цього, так званого періоду «Великого прискорення» [2], науково-технічний прогрес призвів до розширення виробництва та пропозицій товарів та послуг, а також загального поліпшення рівня життя мільярдів людей [1]. Цей період також засвідчив різке збільшення населення світу, яке зросло з трьох мільярдів у 1959 році до семи мільярдів у 2012 році. Такі зміни різко вплинули на споживання природних ресурсів. Одним із ресурсів, на які все частіше виникає тиск, є вода. На сьогоднішній день забруднення водного басейну відвалами промислових підприємств набуває тривожних масштабів. Тому надзвичайно важливо розуміти природний та антропогенний вплив на кругообіг води та фактори, які можуть визначати зміни з часом.

Одне з найскладніших місць для моніторингу - басейни річок. Складність проведення та отримання даних оперативних спостережень полягає в тому, що відбір проб та більшість показників контролю виконуються інструментальним методом, що потребує ресурсів і певного часу від відбору з місця контролю, до його визначення. До того ж не всі місця, що потребують контролю є легкодоступними для транспорту та інструментів, тому моніторинг ведеться в постійних визначених ділянках басейну річок, і не охоплює усю картину стану водойми.

Для вдосконалення практики управління водними ресурсами повинна бути доступною достовірна інформація про антропогенні та природні наслідки та їх взаємодія. Одним з варіантів вирішення цього завдання є впровадження нових підходів до контролю та управління водними ресурсами, зокрема технологій, що поєднують у собі інструментальні засоби та додатки, побудовані за технологією Інтернет речей (ІоТ) та програмно-аналітичні системи, здатні відображати у реальному часі та аналізувати значні обсяги даних від розподілених датчиків.

Інформаційним забезпеченням і дослідженнями в галузі моніторингу поверхневих вод займалися вчені всього світу, зокрема, значний внесок у розвиток вітчизняних систем зробили видатні вчені: Гребінь В.В., Ковальчук В.П., Краковська С.В., Мокін В.Б., Яцишин А.В. та ін., проте з об'єктивних причин, питання розробки систем он-лайн моніторингу на базі IoT все ще недостатньо формалізовані, функціонуючі системи моніторингу поверхневих вод, в багатьох випадках, не використовують можливості сучасних технологій збору, обробки та аналізу даних і не відповідають сучасним потребам.

Виходячи з вищевикладеного, **актуальним науковим завданням** є розроблення інформаційної технології (ІТ) для систем моніторингу поверхневих вод на основі концепції інтернету речей, удосконалення моделей і методів, які створять основи предметно-орієнтованої ІТ і дозволять реалізувати процеси підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні систем моніторингу водних об'єктів, з можливістю їх подальшої інтеграції в глобальну систему моніторингу поверхневих вод.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в межах науково-дослідних робіт на кафедрі комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля за науково-дослідними темами: “Дослідження стратегій та механізмів прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами” 12.2016-07.2020, (№ ДР 0116U005784), “Проектування системи моніторингу та контролю водних об'єктів на основі технології інтернет речей” 01.2020-12.2023, (№ ДР 0120U100421), м. Сєвєродонецьк; при виконанні міжнародного проекту Європейського Союзу ERASMUS+ ALIOT 573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP “Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications”, де здобувач брав участь як виконавець окремих розділів.

Мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження. *Об'єкт дослідження* – процеси забезпечення підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей.

Предмет дослідження – моделі та методи інформаційної технології розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності процесів прийняття рішень пов'язаних з розробкою та використанням системи моніторингу поверхневих вод за рахунок розробки та інтеграції моделей, методів та інформаційних технологій на основі інтернету речей

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *задачі*:

- Провести аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей.
- Розробити технологію для розташування датчиків та IoT пристроїв системи моніторингу.
- Розробити метод обробки даних для визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води.
- Виконати удосконалення методології обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм.
- Розробити елементи інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT.
- Виконати практичне впровадження розроблених методів, моделей, засобів і технологій.

Програма реалізації системи онлайн моніторингу поверхневих вод передбачає поетапне вирішення низки питань, серед яких: розробка та тестування спеціалізованого засобу для відслідковування параметрів у режимі реального часу; побудова мережі контрольних точок визначеної ділянки річки для оцінки її екологічного стану; моніторинг якості води за хімічними показниками; створення програмного забезпечення для аналізу даних, моделювання ретроспективи та прогнозування майбутніх станів, формування єдиних форм для класифікації, ведення баз даних гідрохімічних спостережень, комплексної оцінки якості води, аналізу кратності перевищень гранично допустимих концентрацій окремих речовин, класифікації якості води

відповідно до нормативів; реалізація механізмів доступності даних та інформування громадськості, тощо.

Методи дослідження. При досліджуванні предметної галузі використані методи системного аналізу, технології пошуку в академічних БД, патентний пошук, окреслення, коментування, конспектування, схематизація, анатомування, конденсування, аналіз, синтез, агрегування. Обрані методи дослідження базуються на методах теорії множин, теорії графів, теорії матриць, принципі субмодулярності, жадібних евристичних методах, методу імітації відпалу, максимізації ентропії, діаграмах Вороного та триангуляції Делоне, які використовувались під час розроблення технології для розміщення датчиків та IoT пристроїв в системі моніторингу; теорії ймовірностей, методах описової статистики, варіаційних обчисленнях, кореляційному аналізі, що використовувались при розроблянні метрології обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм; методу головних компонент, факторному аналізі, що використовувались при розроблянні методу обробки даних для визначення набору датчиків в IoT-пристроях контролю якості води; SCAI-граф, mashup методології проектування IoT систем, прототипування, моделі компресійного вимірювання що використовувались при створенні інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT.

В якості вхідних даних для аналізу використано інформацію з офіційних веб-сайтів національного водного агентства України, Сіверсько-Донецького управління водних ресурсів, а також дані лабораторії охорони та контролю навколишнього середовища ТОВ «НВП «Зоря» (2007-2017 рр.).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1) *Вперше* запропоновано метод розташування датчиків, який на відміну від відомих, поєднує технологію розташування на основі ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування. Метод базується на евристиці з жадібним пошуком, що використовує властивості ентропії щодо максимальності, субадитивності та двозначності, при цьому ентропія визначається як відношення довжини зондування до довжини водотоку і

максимізується на мережевий рівень.

2) *Удосконалено* модель мережі IoT датчиків, за рахунок компоненти врахування глибини занурення приладів IoT, що дозволяє врахувати наявність підводних вузлів і визначати місця розташування поверхневих та підводних вузлів.

3) *Дістала подальшого розвитку* технологія обробки даних на основі автоматичного вилучення ознак шляхом застосування методу головних компонент, для вирішення задачі визначення типів датчиків, використовуваних в IoT пристроях контролю якості води, що дозволяє виконати обґрунтований вибір параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків.

4) *Удосконалено* методологію обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, шляхом систематизації процесів комплексного аналізу і прогнозування, що дозволяє сформулювати і реалізувати системний підхід до оцінювання залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів, характерних для досліджуваної ділянки, та проводити прогнозування змін гідрохімічних показників вод в довготривалій перспективі.

5) *Дістала подальшого розвитку* технологія проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT, за рахунок адаптації технології SCAI та mash-методології до задач предметної області, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень щодо створення базової конфігурації IoT системи, починаючи з ціннісної пропозиції, що є особливо важливим для експертів предметних областей, які не стосуються інформаційних та комунікаційних технологій.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі запропонованих моделей, методів та інформаційної технології розроблене програмне та апаратне забезпечення IoT системи моніторингу, що дозволяє на практиці виконувати моніторинг поверхневих вод в режимі реального часу.

Матеріали дисертації використані в НДР “Проектування системи моніторингу та контролю водних об’єктів на основі технології Інтернет речей” 12.2016-07.2020, (№ ДР 0116U005784), “Дослідження стратегій та механізмів прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами” 01.2020-12.2023, (№ ДР 0120U100421); при реалізації міжнародного проекту Європейського Союзу ERASMUS+ ALIOT 573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP “Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications”; і впроваджені в навчальний процес на кафедрі комп’ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля в курси “ІТ для моніторингу та моделювання”, “ІТ аудит і управління ризиками на підприємстві”, “Програмна інженерія та управління ІТ проектами” (акт від 09.06.2019). Практичні результати дисертаційної роботи апробовано та впроваджено у:

- Комунальному підприємстві “Рубіжанське виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства” Рубіжанської міської ради (КП “Рубіжанське ВУВКГ” Рубіжанської міської ради) (акт впровадження від 29.08.2017 р.) при проектуванні системи обліку та аналізу вод, моделюванні та оцінюванні ефективності впровадження системи підтримки прийняття рішень із застосуванням програмно-технічних засобів на основі Інтернету речей;

- ТОВ НВП “Зоря” (акт впровадження від 22.01.2021 р.) при проектуванні системи контролю скидів зворотних (стічних) вод у поверхневі водні об’єкти.

Результати тестового впровадження на підприємствах підтверджують, що запропоновані рішення щодо організації системи моніторингу, засобів передачі, зберігання та обробки даних за допомогою ІоТ дозволяють краще зрозуміти джерела різних забруднювачів води, наслідки політики контролю води та вплив різних речовин у джерелах води.

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні нових моделей, методів, елементів інформаційної технології та інструментальних засобів, що забезпечують вирішення поставлених у дисертації задач. Всі основні наукові положення, результати, висновки і рекомендації дисертаційної роботи

отримані автором самостійно. Основні результати дисертації опубліковані у 17 наукових працях (Додаток А), серед яких праці [9, 15, 18] опубліковано без співавторів. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: аналіз предметної області, вимог і передумов створення системи моніторингу на базі IoT [6, 13, 17], класифікація потенційних забруднювачів та засобів їх визначення [12, 17], трьохшарова архітектура системи моніторингу [7], методи видобутку даних для аналітики IoT [2, 9, 10], методологія обробки даних аналізу якості поверхневих вод [13], моделі збору та обробки даних в системах моніторингу водних об'єктів [4], моделі виявлення випадків забруднення води на основі аномалій [14], моделі прогнозування [15], технологічні підходи до проектування системи моніторингу [1, 5, 16], технологія застосування IoT для довгострокового моніторингу якості води [8], модель реалізації взаємодії різних IoT платформ для моніторингу водних об'єктів [11].

Апробація матеріалів дисертації. Апробацію основних положень, ідей, висновків дисертаційної роботи проведено на міждисциплінарному науково-технічному семінарі кафедри комп'ютерних наук та інженерії у Східноукраїнському національному університеті ім. В. Даля. Основні положення та матеріали дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях:

- IX міжнародній науково-технічній конференції “Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)”, (м. Бухарест, Румунія, 2017 р.);

- XXV міжнародній науково-технічній конференції MicroCAD (м. Харків, 2017 р.);

- II, III міжнародних науково-технічних конференціях “Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology (TACSIT)” (м. Сєвєродонецьк, 2017, 2019 рр.);

- IV Всеукраїнській науково-практичній конференції “Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів. (м. Рубіжне, 2018);

- I, II міжнародних конференціях “Сучасні технології в освіті та науці” (м. Сєверодонецьк, 2018, 2019 рр.);

- I міжнародному симпозиумі “Artificial Intelligence, IoT, Robotics and Smart Systems (AIRS)” спільно з VII міжнародною конференцією “Future Internet of Things and Cloud (FiCloudW)” (м. Стамбул, Турція, 2019 р.);

- XIX міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ)” (м. Харків-Кароліно Бугаз, 2019 р.);

- XII Всеукраїнській науково-практичній конференції “Комп’ютерні інтелектуальні системи та мережі” (м. Кривий Ріг, 2019 р.);

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 науково-технічних публікацій, серед яких, 5 статей у наукових фахових журналах та збірниках наукових праць, у тому числі 1 стаття, яку опубліковано у періодичному науковому виданні іншої держави, яка входять до Європейського Союзу, 2 публікації в працях англомовних конференцій, матеріали яких включено до бази даних Scopus і Web of Science, 10 публікацій у матеріалах (тезах і доповідях) наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаної літератури з 162 найменувань на 20 сторінках, 6 додатків на 155 сторінках. Повний обсяг роботи становить 381 сторінок друкованого тексту, з них анотація – на 8 стор., зміст – на 5 стор., перелік умовних скорочень – на 1 стор., основний текст – на 206 стор. Основний текст роботи містить 73 рисунки, 42 таблиці.

Література до вступу

1. Bhaduri A., Bogardi J., Leentvaar J., Marx S. (2014) The global water system in the anthropocene. *Challenges for science and governance*. Springer International Publishing, New York, NY. 437 p.

2. McNeill J.R., Engelke P. (2016) The great acceleration: an environmental history of the anthropocene since 1945. *Harvard University Press*, Cambridge, MA

3. Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C (2015) The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *Anthrop Rev* 2(1), pp. 81–98.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДНОГО МОНІТОРИНГУ

У розділі представлено результати аналізу предметної області, завдань і технологій проектування та впровадження системи онлайн моніторингу поверхневих вод, побудованої за технологією Інтернет речей. Проведено аналіз підходів до розташування датчиків та IoT пристроїв, визначення компонентного набору датчиків в пристроях контролю якості води, розглянуті особливості обробки довготривалих даних моніторингу. Визначено основні завдання дисертаційного дослідження, методика дослідження, означені основні етапи, показані взаємозв'язки з використовуваними моделями, методами і технологіями, визначені напрями та послідовність виконання завдань дисертаційної роботи.

1.1 Аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей

1.1.1 Особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод

Згідно [1], до поверхневих відносяться води різних водних об'єктів, що знаходяться на земній поверхні. Поверхневі води - це будь-яка надводна маса води, включаючи струмки, річки, озера, заболочені ділянки водойми, штучні чи сильно змінені, перехідні, у т.ч. лимани і прибережні води. Прибережні води берегової лінії й ділянок, районів відкритих морів та океанів є окремим видом поверхневих вод, наповненим солоною водою.

Якість води, у тому числі й поверхневих вод, можна визначити як придатність води для певного застосування на основі її хімічних, біологічних та фізичних характеристик. Іншою якісною характеристикою є прийнятність води, яка зазвичай визначається дотриманням стандартів її передбачуваного використання [37]. У цьому контексті, моніторинг якості води передбачає виявлення її характерних параметрів та порівняння їх із встановленими

стандартами та рекомендаціями. Розвиток інформаційних технологій, зокрема технології інтернет речей (Internet of Things, IoT) відкрили новий етап у розвитку екологічного моніторингу. Особливістю сучасного моніторингу є широке використання різноманітних приладів, сенсорів і комунікаційних інфраструктур, здатних передавати і обробляти дані в режимі реального часу. IoT інтегрує кілька вже існуючих технологій, таких як бездротові сенсорні мережі (wireless sensor networks, WSN), ідентифікація радіочастот, хмарні обчислення, проміжні системи та програми для кінцевих користувачів [47]. Разом з тим, для ефективного збору та обробки даних на кінцевих вузлах інформаційних систем, заснованих на IoT, необхідне розуміння стану готовності технологій та інфраструктури. З огляду на це, у цьому підрозділі проводиться аналіз передумов і можливостей використання IoT для моніторингу річок та систем розподілу води.

1.1.1.1 Передумови використання IoT для моніторингу річок

Оцінювання стану забруднення поверхових вод є процес безперервний і виконується, як контролюючими органами, управліннями, так і самими суб'єктами водокористування / водовідведення згідно Закону України «Про моніторинг», Водного кодексу України [1], Закону України про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» [9] та інших вимог законодавства. Однак, згідно проведеного моніторингового дослідження [7], від наднормативного забруднення потерпають усі річки нашої країни. За останні роки середній відсоток випадків перевищення нормативів скидів за всіма показниками склав 30%, в середньому по показникам: в басейні р. Сіверський Донець – найбільша кількість показників, за якими спостерігається наднормовий скид (хлориди, хімічне споживання кисню (ХСК), біохімічне споживання кисню впродовж 5 діб без доступу повітря і світла (БСК₅), нітрати, азот амонійний, нафтопродукти, залізо, сульфати та фосфати), загалом дев'ять показників. Середній показник рН є найвищим (8,1) серед зазначених водоймищ; в басейні р. Дніпро – сім показників є наднормовими (ХСК, БСК₅, нітрати, азоту амонійного, нафтопродукти, залізо, фосфатів); в

басейні р. Західний Буг та і Сян спостерігається підвищене забруднення за восьма показниками (ХСК, БСК₅, нітрити, нітрати, азоту амонійного, завислих речовин, заліза та фосфатів); в басейні р. Південний Буг – за шістью показниками (БСК₅, нітрати, азоту амонійного, нафтопродукти, залізо, фосфатів); в басейні р. Дністр – п'ять наднормових показників (нітрати, нітрити, азоту амонійного, нафтопродукти, заліза, розчинний кисень); в басейні р. Дунай – спостерігається підвищене забруднення за двома показниками (залізо та дефіцит розчинного кисню), показник рН є одним з найвищих (7,9) серед зазначених. Отже, проблема покращення стану водою залишається актуальною, а її вирішення не можливе без постійного контролю та моніторингу.

Вимірювання якості природної води є необхідними для прийняття обґрунтованих рішень щодо забезпечення сталого управління водними ресурсами та охороною водної екосистеми. На даний час, періодичність контролю розраховується з урахуванням обсягів, періодичності та кількості скидів згідно спеціальних розрахунків і затверджується у спеціальному графіку контролю. Разом з тим, кількість моніторингових спостережень, як правило, складає не частіше одного разу на добу, або на тиждень.

Спостереження за обов'язковою повною програмою на водотоках здійснюють, зазвичай, сім разів на рік: під час повені – на підйомі, піку і спаді; під час літньої межені – при найменшій витраті та при проходженні дощового паводка; восени – перед льодоставом та під час зимової межені [10]. З цього виходить, що об'єм спостережень в більшості випадків носить аперіодичний характер і, з великою долею ймовірності, пікові (максимальні разові, у т.ч. аварійні) скиди будуть не зафіксовані.

Складність проведення та отримання даних оперативних спостережень полягає в тому, що відбір та усі показники зазначеного контролю виконуються інструментальним методом за участю лаборантів атестованої лабораторії та потребує ресурсів і певного часу від відбору з місця контролю, до його визначення. Однією з найбільших проблем у моніторингу якості води є вимога відбору великої кількості зразків для забезпечення точного та надійного

аналізу. У зв'язку з цим ручні методи вносять значну складність і вважаються неефективними. До того ж не всі місця, що потребують контролю є легкодоступними для транспорту та інструментів, тому моніторинг ведеться в постійних визначених ділянках басейну річок, і не охоплює усю картину стану водойми. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є впровадження нових підходів до контролю та управління водними ресурсами. Зокрема, технологій, що поєднують у собі інструментальні засоби та додатки, побудовані за технологією Інтернет речей (IoT) та програмно-аналітичну систему, здатну відображати у реальному часі та аналізувати значні обсяги даних від розподілених датчиків. Моніторинг у режимі реального часу забезпечує можливість раннього попередження для забезпечення своєчасної реакції на забруднення води. Подібні системи розробляються і впроваджуються у багатьох країнах для моніторингу повені та рівня води [13, 62], моніторингу забруднення [28, 59], збирання параметрів якості води в реальному часі [36, 43, 57], тощо. З метою усунення проблем, пов'язаних з ручним моніторингом якості води, планується розробити високотехнологічну систему онлайн моніторингу якості води в басейні р. Сіверський Донець. Пропоноване рішення реалізує комплексне управління водними ресурсами на основі басейнового підходу, забезпечуючи оцінку індивідуальних характеристик кожної ділянки водного об'єкту, вдосконалення системи моніторингу водного середовища - стану поверхневих та підземних вод; постійне спостереження; обстеження та визначення стану басейнів річок; моніторинг дотримання стандартів і норм скидів [5].

1.1.1.2 Передумови використання IoT для моніторингу систем розподілу води

Системи розподілу води, як правило, складаються з резервуарів, труб та насосів, що доставляють очищену воду з очисних споруд до споживачів. Навіть поміркована мережа може мати сотні кілометрів труб та численні пункти доставки, що робить її по суті вразливою.

Загрози системі розподілу води можна розділити на три основні групи відповідно до підвищеної безпеки: (1) прямий напад на основну інфраструктуру: дамби, очисні споруди, сховища, трубопроводи тощо; (2) кібератака, яка порушує нормальне функціонування систем контролю та управління за водопостачанням SCADA, що може призвести до відключення постачання води або недостатнього очищення води, зміни або заміни кодів протоколів тощо; та (3) навмисне введення хімічного або біологічного забруднення в один із вузлів системи. Загрозу прямої атаки можна мінімізувати, покращивши фізичну безпеку системи, наприклад, додаткові сигнали тривоги, огороження, камери спостереження, охорона тощо, тоді як кібератака може бути мінімізована шляхом використання комп'ютеризованого обладнання та програмного забезпечення для обмеження передачі даних тощо. Із перерахованих вище загроз навмисне введення хімічних або біологічних забруднень є найважчим для вирішення. Це пов'язано з невизначеністю типу забруднення що вводиться та його наслідків, а також невизначеністю місця та часу введення. В основному, забруднення можна вводити в будь-який вузол системи розподілу води за допомогою насоса або пересувного герметичного бака. Незважаючи на те, що запобіжники зворотного потоку створюють перешкоду, вони взагалі не існують, а в деяких можуть бути непрацездатними.

Основним курсом підвищення безпеки системи розподілу води від навмисного забруднення є встановлення сенсорної системи на базі IoT [14, 15].

Однією з найкорисніших характеристик додатків, побудованих за принципом IoT є постійний моніторинг води, що дозволить поступово еволюціонувати від реактивного до профілактичного реагування, виходячи з фактичного стану водних об'єктів. Онлайн моніторинг дозволяє вирішувати такі завдання:

- автоматизований контроль частоти відбору, кратності контролю;
- оперативну оцінку основних параметрів поверхневих вод, зокрема контролювати параметри очищених стічних вод, що скидаються у водні об'єкти;

- підтримку прийняття рішень щодо заходів по очищенню від забруднювачів;
- своєчасне виявлення впливів водокористувачів на водну систему.
- збір, аналіз та прогнозування стану поверхневих вод.

1.1.2 Аналіз можливостей використання IoT в гідрологічній області

IoT в гідрологічній області зосереджується на інженерному та інфраструктурному моніторингу. До основних завдань IoT систем можна віднести моніторинг та вимірювання якості води, економію запасів води та забезпечення ефективного функціонування міст. Дані систем моніторингу на базі IoT можна використовувати для вдосконалення процесів прийняття рішень, моніторингу тенденцій та отримання попереджень про стан водойм.

Наприклад, проект «Південь на північ» у Китаї використовує понад 100 000 датчиків зі 130 різними цілями для моніторингу якості води, інфраструктури та безпеки [65]; все це надходить у хмарну інфраструктуру, що оновлюється кожні 5 хвилин. Завдання, виконувані системою моніторингу умовно поділені за трьома категоріями - інфраструктура, водопостачання та безпека, основу яких складають 130 різних типів підключених до Інтернету датчиків, встановлених вздовж каналу. Інфраструктурні датчики, що вимірюють напруження, деформацію, вібрацію, зміщення, тиск землі та просочування води, були вбудовані в землю, що прилягає до каналу та в бетонні береги та мости, а також 50 дамб, побудованих для контролю потоку води. Подібні установки в менших масштабах містять моніторинг річок та заболочених територій для очищення води [74], моніторинг стічних вод в режимі реального часу для пом'якшення сценаріїв затоплення [26], а також концептуальні проекти систем моніторингу повені [49]. Застосування IoT для моніторингу та очищення стічних вод та використання його для побутової діяльності для можливості швидкого виявлення джерел забруднення й мінімізації їх шкідливого впливу за рахунок розгорнутих платформ розподілу води обговорюється в [33, 44]. Пропонуються підтримка умов контролю

подачі потрібної кількості водотоків з дотриманням коридору кількісного та якісного складу, управління варіаціями нестандартних відмов за умови виявлення відхилень з метою мінімізації шкідливого впливу за рахунок впровадження технологій малої потужності.

Інші можливі застосування технології включають моніторинг підземних вод та річок для кращого інформування гідрологічних ознак, пов'язаних із кліматичними змінними, інфільтрацією та поверхневими стоками [46, 61]. Застосування IoT у штучних водоймах та акваріумах допомагає водним фермерам контролювати та переробляти воду, підвищувати продуктивність та зменшувати вплив на навколишнє середовище. Контроль якості вод на природних та штучних рибних господарствах розглянуто в [32, 58, 76, 78].

Різні підходи до інтелектуального аналізу даних та підтримки прийняття рішень заснованих на даних моніторингу річкових та морських вод розглядаються в [42, 45, 48], центрів аквакультури [60, 76], систем розподілу питної води [56]. Впроваджуючи розумні системи ефективного управління питними водами, можливо досягнути зменшення витрат та прихованих втрат водних ресурсів як для комунальних мереж, так і мереж зрошення у сільськогосподарському комплексі [52, 70]. Ще одним важливим застосуванням IoT в системах моніторингу вод є швидке визначення забруднення питної води [18, 22], пропонуючи можливості для контролю якості в режимі реального часу й керування подальшим спрямуванням на системи розподілу.

Система прийняття рішень (СППР) що є одним з важливих компонент систем моніторингу поверхневих вод на базі IoT може використовуватися на різних рівнях, від проектування системи моніторингу до її розгортання та повномасштабного використання, допомагаючи вирішувати низку важливих питань, зокрема розташування датчиків та приладів, визначення джерела забруднення, пошуку варіантів реагування та зменшення рівнів забруднення. Послідовність вирішення завдань визначається структурою проекту і дає можливість визначити роль окремих факторів в ефективності роботи СППР. Одним з можливих варіантів такої послідовності є процес Розташування –

Ідентифікація – Відповідь що починається з визначення місць розташування датчиків IoT (рис. 1.1).

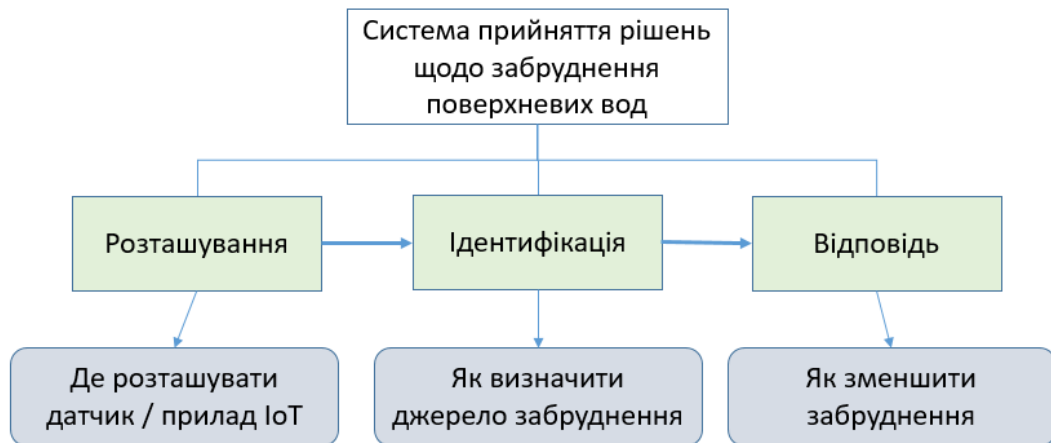


Рисунок 1.1 – Система прийняття рішень щодо забруднення поверхневих вод (Адаптовано з [38])

1.2 Аналіз підходів до розташування датчиків та IoT пристроїв системах моніторингу поверхневих вод

Будь-яка система управління річковими басейнами обов'язково передбачає районування – виділення межі ділянки територій басейнів, суббасейнів за гідрографічним та адміністративним принципом. Районування за адміністративним принципом проводиться за адміністративно-територіальною приналежністю і є доволі статичним, у той час як гідрогеографічне районування і оптимізація меж гідрографічних ділянок для уточнення районування за результатами довгострокових спостережень потребує деталізації та локального уточнення.

Досвід європейських країн поділяє локальний підхід до географічних одиниць, наприклад субекорегіони за досвідом Німеччини [23, 50, 64] і Австрії [39], гідрографічні регіони за досвідом Франції [75] і кліматичні регіони за досвідом країн Скандинавії [17, 63]. Район річкового басейну розглядається як територія, що зазвичай складається з розгалуженої мережі водотоків - струмків, річок і подекуди озер, з яких поверхневі води постійно або

тимчасово (що пересихають) рухаються за напрямком ухилу до подальших місць їх злиття (річок, озер, через гирло до моря).

Більш того, гідрографічне районування має досить великий за відстанню поділ на окремі ділянки, межі яких чітко визначені розміром досліджуваної басейнової одиниці: великі райони річкових басейнів (з категорією площі водозабору більше 50 000 км²), їх ділянки суббасейнів, річкові басейни малих (не більше 2 000 км²) і середніх річок (від 2000 км² до 50 000 км²) [2, 31]. Межі ділянок /районів за цими критеріями розподілу на басейнові та суббасейнові одиниці, створюють базову мережу і дозволяють визначити географічні координати загальних опорних точок, ліній границь розмежування гідрогеографічних ділянок за:

- зміною гідроморфологічних компонентів водотоків на місцевості, характеристик форм рельєфу;
- наявності і розташування гідроспоруд, гідрометричних створів, гідровузлів водосховищ, гідрологічних постів моніторингових спостережень на водотоках;
- перетину меж або злиття, сходження у плані ділянок, або їх примикання до берегової лінії морських вод, адміністративних кордонів, ділянок інших/суміжних гідрографічних одиниць.

Лінії межі гідрогеологічного поділу зазвичай обирають лише за визначенням візуальних відмінностей: елементів місцевості (дорожньої мережі, ландшафтних насаджень, рослинного покриву, рельєфу, гідрографії, тощо). Як правило, за площею окреслені території спостережень складають ділянки від 200 км² до 20 000 км² [6].

Тобто основними критеріями, що визначають водогосподарські ділянки спостереження на сьогодні є:

- площа території водотоків басейну річки;
- наявність і кількість, розташованих на цій території населених місць та створів скиду поверхневих вод з визначеним вмістом забруднюючих речовин;

- наявності місць водозабірної території в межах площі не менше 2000 км², з яких забирається 25%, 30% або 50% поверхневого стоку для користування;

- кількість і щільність населення, яке проживає в межах виділеної водогосподарської ділянки одної гідрографічної одиниці. Відповідно поділ кількості населених міст, які можуть входити на одну ділянку спостережень мають бути не більше одного міста для щільності населення понад 500 000 осіб; два міста на одну ділянку - при щільності 250 000 - 500 000 осіб; чотири міста - з населенням 100 000 - 250 000 осіб; вісім міст - з населенням 50 000-100 000 осіб;

- відношення кількості забруднюючих речовин, що вміщуються у водних об'єктах (на одиницю об'єму у маловодний період (до їх нормативних гранично-допустимих концентрацій (за обліком антропогенних навантажень на водні об'єкти, у т.ч. згідно водогосподарського районування).

Таким чином, опорними точками для окреслення ліній меж ділянок водного басейну для моніторингу є:

1. Опорні точки межі гідрографічних одиниць починаючи з верхів'я річкової мережі до замикаючих створів водних об'єктів:

- поділу на ділянки території поверхневих водних об'єктів, що пов'язані гідравлічно між собою;

- встановлення місць окремих створів гідровузлів (водосховищ, каскадів);

- з'єднання/стику трьох і більше ділянок водного басейну;

- примикання до берегової лінії внутрішніх морських вод, територіальних морських вод.

2. Опорні точки межі адміністративно-територіальних одиниць:

- примикання /перетин меж з кордонами адміністративних одиниць;

- примикання меж ділянок розподілу до державних кордонів;

- зонування за щільністю населення;

– визначеного антропогенного навантаження на водні об'єкти за відмінностями витрат та якості вод, режиму водних об'єктів в існуючих пунктах спостережень, створів водоскиду/ водозабору.

3. Опорні точки меж відмінностей топографічних, морфометричних ознак:

– місць зміни географічних компонентів місцевості (сходження різноспрямованих ділянок межі між суміжними);

– визначення / пристосування до зміни, особливостей форм елементів місцевості (рельєфу, гідрографії, дорожньої мережі, покриву рослинності, інш. топографічних особливостей).

Для удосконалення визначення ділянок моніторингу, у т.ч. з урахуванням розмежування по лініям опорних точок важливо відокремити оптимальні зони впливу місцевих факторів з впровадженням синхронізації усіх пунктів мережі моніторингової ділянки. Поставлене завдання вирішується впровадженням системи моніторингу поверхневих вод на основі ІоТ. Разом з тим, постає низка нових питань, серед яких – визначення кількості ІоТ датчиків та/або приладів, їх компонентного складу, визначення місць їх встановлення тощо.

Визначення місць моніторингу та розміщення датчиків на водних артеріях має вирішальне значення для контролю рівня води та її якості, виявлення випадкового або навмисного забруднення. З розвитком міст і підприємств, змінами в технологіях та вимог до забору, використання та скиду, системи водопостачання та водовідведення постійно зростають. В результаті поточне розміщення стаціонарних датчиків з часом втрачає свою ефективність для виявлення забруднень [79]. Отже, у багатьох реальних додатках потрібно вирішити проблему додаткового розміщення датчиків.

Мета оптимізації розміщення датчиків є подвійною: (1) стійке та економічно вигідне управління водорозподільними мережами з заміною застарілих приладо-технічних засобів моніторингу та (2) ефективно запровадження комп'ютерних технологій для удосконалення системи моніторингу вод, використовуючи великий обсяг даних від віддалених та

розподілених на значній відстані об'єктів, для виявлення відповідності вимогам і сталого розвитку. В [38] перераховано перераховуємо найбільш часто використовувані цілі оптимізації, причому, як видно з рис. 1.2., деякі з вищезазначених цілей суперечать одна одній. Наприклад, час виявлення конфліктує з імовірністю виявлення.



Рисунок 1.2 – Задачі оптимізації розміщення датчиків у водних системах (Джерело: [38])

Для впровадження IoT у водорозподільну систему поверхневих водоводів природні потоки поверхневих вод можуть бути представлені у вигляді спрощеної просторово-динамічної моделі, що побудована у розрізі водоводів/форватору шляху річки із зазначенням основних гідродинамічних характеристик, які впливають на динаміку річкових процесів (швидкості потоку, геометричних розмірів русла, коефіцієнту турбулентної дифузії, які повинні бути приблизно постійними на кожній елементарній ділянці (рис. 1.3) [51].

Для представлення природних потоків базові гідрографічні ділянки визначених водоводів можна розділити таким чином, щоб кожна нова поділена ділянка річки починалася з місця прибуття цих потоків. Координація елементарних точок спостереження повинна здійснюватися за ланцюговим принципом: вихід кожного з них є входом для наступних. Вода по водотоку

рухається у напрямку течії річки (координатної осі, що проходить уздовж середини річкового потоку або зміщеної до берегів. Коефіцієнтом пропорційності між ними є швидкість переміщення об'єму - швидкість річкової течії.

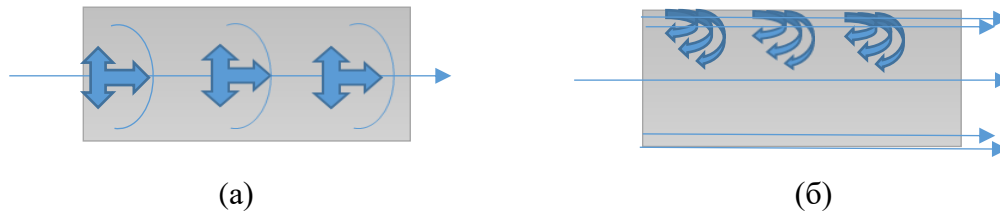


Рисунок 1.3 – Схема просторово-динамічних процесів елементарних річкових течій: а) ділянка річки з розподілом потоку по центру водотоку; б) ділянка річки з усередненням розподілом потоку по ширині та глибини

Важливо, що система моніторингу на основі IoT дозволить сформувати багатовимірну картину стану водних систем з урахуванням динамічного розподілу забруднюючих речовин з потоком по ширині та глибини. Та виправить поширену практику побудови загальної картини якості поверхневих вод з використанням даних, які отримані лише у доступних місцях, не обладнаних забором з середини потоку течії, чи отримані з забору прибережних зон для виміру їх якості в лабораторних умовах. Такий підхід на сьогодні виключає можливість здійснення глибоких аналітичних досліджень щодо вияву реального стану водойми, особливостей розподілу забруднюючих речовин в розрізі площини водотоку, з урахуванням різних глибин (особливо в зимовий період), положення течії основного потоку, виду дифузних процесів, урахування турбулентних і ламінарних зон, аномалій, тощо. До того ж розсинхронізація отриманих даних по кожному пункту/опорній точці спостережень формує викривлену динамічну картину наявного стану і не дає можливість виявити зміни/вплив в оперативному режимі за заданою локацією пункту спостереження. Тому технології розміщення та локалізації датчиків системи моніторингу води на основі IoT, призначених для визначення місць

розташування поверхневих та підводних вузлів, поєднують зазначені виклики та надають ефективні процедури їх використання.

1.3 Визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води

Іншим важливим питанням, що потребує вирішення при проектуванні систем моніторингу на базі IoT є визначення наборів датчиків, що використовуються в пристроях контролю якості води. Пристрої IoT складаються із вбудованих систем, які взаємодіють із датчиками та виконавчими механізмами та потребують бездротового підключення.

Річки - це єдина екосистема, для якої характерні сильні і переважно односпрямовані потоки матеріалів, які тісно пов'язують висхідні та нижчі течії, а отже, річки відіграють важливу роль в асиміляції або відведенні комунальних та промислових стічних вод та видалення поживних речовин із сільськогосподарських полів та мінеральних порід поверхневим стоком відповідають за забруднення річок. Викид комунальних та промислових стічних вод є постійним джерелом забруднення, тоді як поверхневий стік є сезонним явищем, на яке в значній мірі впливає клімат в басейні. Тому, оскільки річки є найважливішими внутрішніми водними ресурсами для споживання людиною, обов'язково потрібно мати надійну інформацію про характеристики та тенденції якості води для ефективного управління водними ресурсами.

ЕРА визначила 12 класів потенційних забруднювачів води. 12 категорій забруднень можна об'єднати у п'ять загальних груп [29]:

- Промислові хімікати;
- Хімічні бойові отруйні речовини;
- Мікробні агенти;
- Біохімічні агенти;
- Радіоактивні матеріали.

Оскільки кількість потенційних забруднювачів становить велику кількість, багато з них не можуть бути точно визначені за допомогою звичайного моніторингу. З цією метою, як правило, практичніше використовувати датчики, які вимірюють показник або одразу групу показників узагальненого вмісту (так звані сурогатні або непрямі параметри [24, 27]), для виявлення води ненормальної якості і оцінки можливого забруднення.

Ранні дослідження систем моніторингу вод продемонстрували, що зміни в 10 із 12 класів забруднень можна виявити шляхом вимірювання трьох непрямих параметрів: залишку хлору, провідності та загального органічного вуглецю (ТОС) [30]. Два класи забруднювачів, які потенційно не виявляються цими параметрами, включають бойові хімічні отруйні речовини та рослинні токсини, які підпадають під загальну групу біохімічних агентів. Іншими непрямими параметрами, що демонструють різні рівні чутливості до багатьох класів забруднювачів і дозволяють отримати оцінку якості складноутвореного вмісту води, є рН, окислювально-відновний потенціал (ОВП) та каламутність. Ці шість параметрів становлять найпоширеніший набір непрямих маркерних показників, зазвичай використовуваних в датчиках станцій моніторингу води.

Для комунальних підприємств та районів, що мають особливі вимоги до виявлення забруднень, в систему моніторингу можуть бути додані інші показники та аналізатори забруднювачів. Так, наприклад, аналізатори летких органічних сполук можуть виявляти та ідентифікувати конкретні сполуки з двох із 12 класів забруднювачів (хімічні бойові речовини та рослинні токсини), що знаходяться в групі промислових хімікатів.

Замість вимірювання сурогатних параметрів можливо також використання датчиків, що виявляють потенційне забруднення шляхом моніторингу біоактивності. Такий підхід дозволяє контролювати наявність хімічних забруднень, вивчаючи реакцію дрібних організмів (риби, мідії, дафнії, водорості та ін.) на зміни в навколишньому середовищі. Коливання у реакціях організмів, такі як поведінка, продуктивність або дихання, можуть побічно свідчити про наявність хімічного забруднювача. У [72] описано

з'єднаний зі смартфоном біосенсор, який використовує бактерії для виявлення небезпечних рівнів миш'яку у воді. Зразки води подаються в пластиковий пристрій, що містить бактерії, суспендовані в гелі. В присутності миш'яку бактерії утворюють флуоресцентні білки, світло яких зчитується та інтерпретується на смартфоні. Смартфон в свою чергу генерує легкі для інтерпретації схеми, які відображають рівень забруднення води.

Варто зазначити, що подібні системи можуть бути надзвичайно чутливими до виявлення аномалій якості води, але, як і у випадку з непрямими параметрами, для виявлення конкретного наявного забруднення необхідні додаткові випробування. Датчики якості води можуть контролювати параметри, які можуть бути присутніми у воді через характеристики її джерела або в результаті обробки даних спостережень, але не забруднення як такого. Наприклад, нітрифікація може відбуватися у питній воді, коли надлишок аміаку є в процесі хлорування або розщеплення хлораміну і, хоча нітрифікація не вважається забруднювачем води, раннє виявлення нітрифікації варте уваги. Тому моніторинг нітрифікації, як правило, включений в системи IoT для комунальних підприємств, які використовують хлорамінування як вторинний дезінфікуючий засіб у системах розподілу. Потенціал та ступінь нітрифікації можна визначити, оцінивши рівні нітритів, нітратів, аміаку та засвоєваних органічних вуглеводів у системі розподілу.

Для визначення набору датчиків, фахівцями водного господарства Філадельфії, США було проведено ґрунтовний аналіз за результатами якого прийнято рішення, що стандартна станція моніторингу буде містити прилади для вимірювання наступних параметрів [55]:

- температура;
- рН;
- провідність;
- ORP (окисно-відновний потенціал);
- хлор (комбінований);
- помутніння;

- поглинання ультрафіолетового світла (вузька смуга на довжині хвилі 254 нм).

В процесі прийняття рішень розглядались, але не були обрані наступні параметри:

- Нітрифікація (не була включена на підставі рішення зосередитись спочатку на виявленні можливого забруднення води). При бажанні в майбутньому можуть бути додані інструменти для контролю за нітрифікацією. Спектралізатори s::cap [60, 73, 77], встановлені на суперстанціях моніторингу, мають можливість конфігурації для вимірювання нітратів.

- Використання біосенсорів (було коротко розглянуто, але виключено через високий рівень необхідного технічного обслуговування та вимогу до дехлорування потоку зразків перед введенням у ємності, що містять біосенсиори).

- Традиційний електрохімічний аналіз ТОС (був розглянутий, але не вибраний). Ці аналізатори, механічно складні і мають круту криву навчання перед тим, як досягти стабільної довготривалої роботи.

- Концентрації фтору. Оскільки фтор стабільний у воді, після визначення концентрацій у будь-якому місці вони навряд чи зміняться, тому постійний контроль не вважався корисним.

На додаток до стандартних станцій моніторингу, в якості випробувального стенду для альтернативних аналізаторів були сконфігуровані дві суперстанції що працювали паралельно зі стандартними станціями. Для цих систем моніторингові параметри включали:

- поглинання ультрафіолету/видимого світла (безперервний широкосмуговий спектральний аналіз від 200 до 770 нм);

- нітрати;

- ТОС (загальний обсяг органічного вуглецю);

- леткий органічний вуглець (одна станція);

- багатопараметричний прилад, що містив хлор (вільний і загальний), рН, провідність і помутніння.

Як видно з цього прикладу, питання вибору параметрів є складним і вимагає глибокого аналізу. Іншою проблемою регулярних програм моніторингу якості води є створення великої фізико-хімічної матриці даних за відносно короткий проміжок часу, що вимагає ефективного механізму обробки даних для інтерпретації результатів, об'єднання змінних та значущих висновків. Щоб спростити проблему зменшення даних і отримати ґрунтовний висновок щодо якості води, у багатьох дослідженнях [11, 66, 68, 69, 71] використовували показники якості води (water quality index, WQI) для перевірки впливу скидів відходів на якість води в потоках і річках.

Створення моделей на основі WQI складається з наступних етапів [11, 66, 71] (рис. 1.4):

- 1) вибір параметрів якості води;
- 2) генерація субіндексів: значення концентрації параметрів перетворюються до одиниці за вирахуванням субіндексів;
- 3) призначення значення ваги параметрів: параметрам присвоюються ваги, залежно від їх значущості для оцінки;
- 4) обчислення індексу якості води за допомогою функції агрегування: окремі субіндекси параметрів комбінуються за допомогою зважувань для отримання єдиного загального індексу.

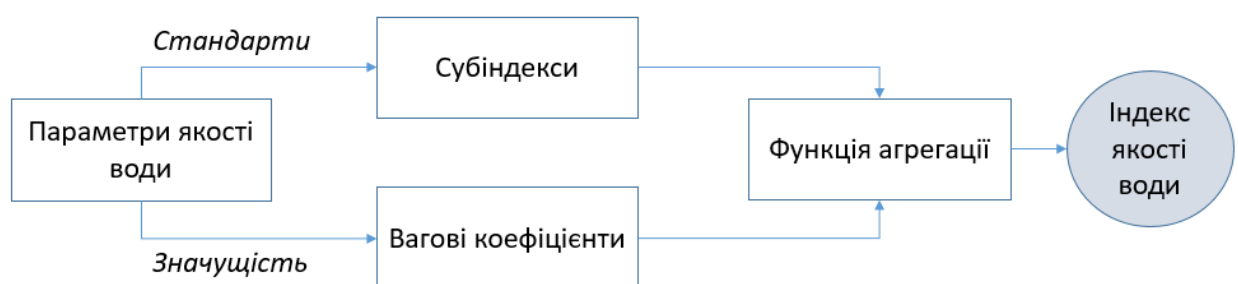


Рисунок 1.4 – Схема процесу створення моделей якості води на основі WQI

(Джерело [71])

Для прийняття рішення щодо якості води на основі значення індексу якості води зазвичай використовується класифікаційна шкала. Однак у багатьох випадках WQI є специфічними для типу забруднення або географічного району і мають труднощі в універсальному застосуванні. Крім

того, вони не надають доказів про джерела забруднення. Подібним чином однофакторна процедура є загальноприйнятою методикою, що застосовується при моніторингу якості річкової води, яка не адекватно характеризує одночасну подібність та різницю між зразками чи змінними.

У зв'язку з цим має сенс застосування методів багатовимірної статистики, щоб зменшити розмірність набору даних, зберігаючи, наскільки це можливо, мінливість, що присутня в наборі даних, і оцінювати асоціації між змінними.

Найбільш використовуваними підходами є факторний аналіз [21, 35] і метод головних компонент (principal component analysis, PCA) [53, 68]. PCA – це статистичний інструмент, що використовується для зменшення розмірності багатовимірного набору даних. Він зберігає максимальне інформативне значення вхідних даних неушкодженими, намагаючись зменшити їх розміри. PCA є загальноприйнятною процедурою для незалежного вибору змінних та відкидання надмірних або сильно корельованих параметрів.

Оскільки у багатьох випадках дані отримуються з різних джерел, першим кроком, незалежно від мети, є аналіз доступних наборів даних (рис. 1.5).

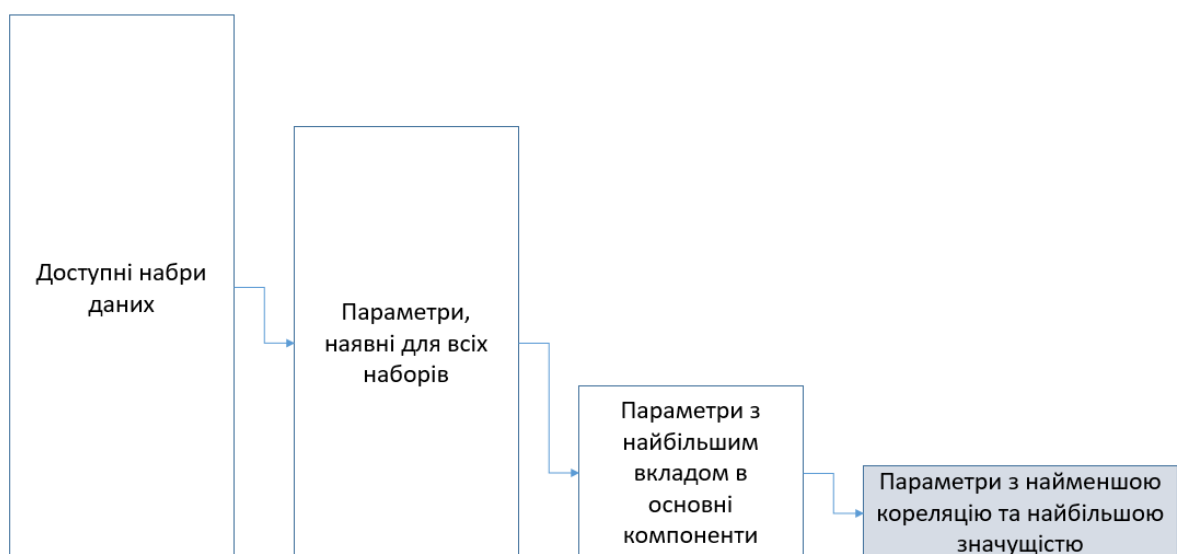


Рисунок 1.5 – Методологія застосування PCA для аналізу даних моніторингу

За результатами аналізу обираються параметри, які присутні у всіх або більшості наборів даних. Наступним кроком є безпосередньо запуск методу

головних компонент який визначає дисперсію у величезному наборі корельованих змінних з точки зору невеликої кількості нових псевдо змінних, що називаються основними компонентами (principal components, PC) [40, 41]. Параметри з найбільшим вкладом в основні компоненти (що мають найменшу кореляцію та найбільшу значущість) обираються в якості базових для подальшого аналізу, решта – відкидається, що забезпечує зменшення розмірності набору даних.

В галузі водного моніторингу, PCA застосовується для оцінки сезонних та забруднюючих впливів на якість води, оцінки станцій моніторингу, часових та просторових коливань якості води, ідентифікації джерел забруднення в басейні річки, тощо. Нещодавно PCA застосовували для оцінки якості води річок, що зазнали впливу органічного забруднення [54, 67]. Поєднанням змінних середовища і біологічних показників вдалося чітко визначити і пояснити градієнти забруднення. Подібним чином, PCA дозволив виявити чіткий характер спороношення спільнот водних гіфоміцетів, інкубованих при чотирьох різних температурах. Отже, використання PCA для виявлення змін у структурі екологічної цілісності поверхневих водних систем та оцінки впливу на навколишнє середовище є цілком виправданим і дозволить зрозуміти інтегральний стан поверхневих водних систем через хімічні, фізичні та біологічні стресові фактори.

1.4 Особливості обробки довготривалих даних моніторингу

Дані, отримані через інфраструктуру IoT, можливо використовувати не лише для тактичних але і для стратегічних цілей. Ефективне використання різних методів машинного навчання на великих наборах даних може допомогти у прогнозуванні подій повені в режимі реального часу [16, 34]. Виходячи за межі дослідницьких програм, мережі IoT моніторингу можуть мати великий вплив на застосовувані методи моніторингу, надаючи інформацію майже в реальному часі для кращого прийняття рішень, покращення загальної ефективності та ефективності моніторингу.

Згідно звіту Інституту економічних досліджень та політичних консультацій «Вплив кліматичних змін на виробництво пшениці в Україні» [8], звітів та прогнозів змін температури поверхневого повітря [3, 4, 19, 20], історичні кліматичні дані та наявні прогнози на 2010-2070 рр. вказують на подальше зростання температури по всій території України (рис. 1.6). Причому найвищий ріст передбачається на сході (2,7-2,9⁺) та в центрі України (2,1-2,7⁺).

Моніторинг загроз для довгострокової перспективи якості води спирається на постійний аналіз даних протягом кількох років, щоб визначити тенденції та постійні зміни в базовому сценарії. Інформація, отримана з системи моніторингу, може допомогти у розробці стратегій для реагування на погіршення якості води. В довгостроковій перспективі проводиться систематичний аналіз, щоб визначити, чи змінено базову лінію для декількох параметрів у конкретному місці де розташовано вимірювальну станцію, і як базова лінія для даного параметра змінилася в декількох місцях. Ці результати можуть допомогти оцінити, чи є ця зміна широко поширеною по всій поверхневій воді та водорозподілу або ізольована до певної території.

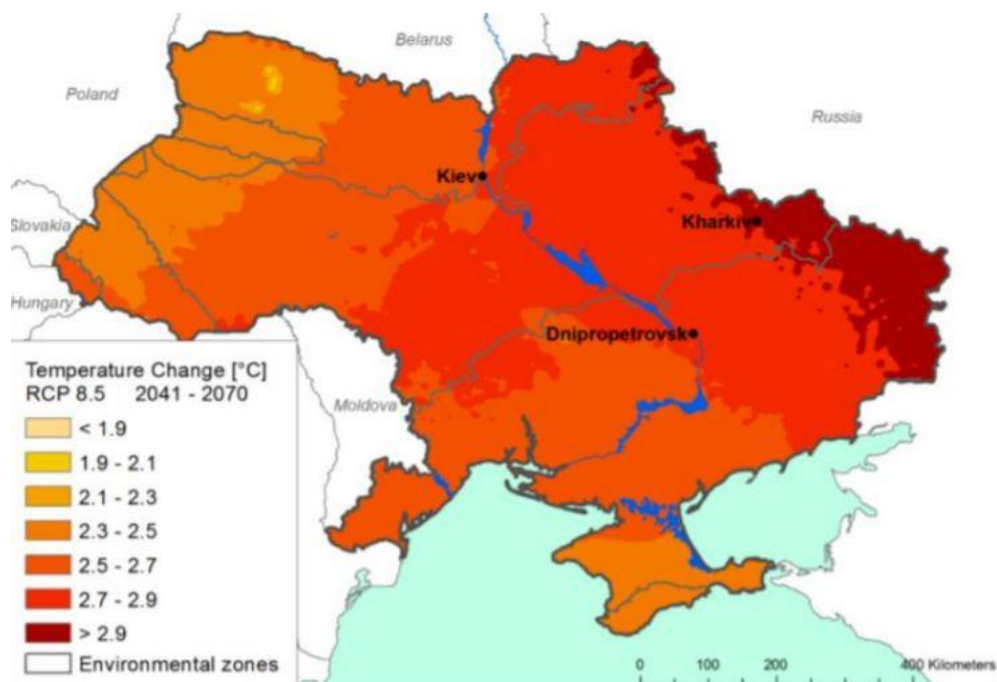


Рисунок 1.6 – Зміна температури (°C) в період 2040- 2070 рр. порівняно з 1976-2005 рр. за кривою RCP 8,5 (Джерело [8])

З огляду на вищевикладене, актуальним науковим завданням є оцінити можливі зміни фізико-хімічних показників річкових вод через зміну клімату. У цьому сенсі дослідницьке питання може бути сформульовано як задача визначення наскільки суттєвими будуть ці зміни і яким чином підвищення температури вплине на показники якості води?

Для вирішення цього питання необхідно провести аналіз статистичних показників стану водойми та побудувати моделі для прогнозування стану водойми на підставі довгострокових спостережень, з врахуванням наявних сезонних впливів природнього та антропогенного характеру, врахування впливу температурних змін, в розрізі прогнозованого глобального потепління на Сході України (2020-2050 рр.).

В якості базової гіпотези приймається наявність суттєвого впливу температури на якість річкових вод у період до 2050 р.

1.5 Аналіз можливостей розробки та впровадження інформаційної технології для системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT

Для вирішення питань, поставлених в попередніх підрозділах, а також щоб запропонувати методологію розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на базі IoT, слід дослідити проблеми та можливості, які можуть виникнути із впровадженням технології IoT. Після отримання чіткого розуміння цих факторів необхідно визначити технології IoT, які мали б вирішальне значення для завдань моніторингу. Після цього може бути запропонований план розробки та впровадження системи.

Основні етапи проектування системи онлайн моніторингу поверхневих вод можуть бути представлені у вигляді послідовно-паралельної схеми (рис. 1.7), що містить визначення мети, вибір цільових об'єктів моніторингу, вибір або проектування базової конфігурації засобів вимірювання параметрів, розробку засобів забезпечення доступу до даних в реальному часі, засобів візуалізації даних, моделей і методів підтримки прийняття рішень, та низки інших питань.

Результати, отримані завдяки впровадженню системи, дозволять значно підвищити ефективність обробки інформації щодо стану поверхневих вод, визначити суттєві зміни якості води, впровадити відповідні стратегії поводження та вживати заходів для захисту поверхневих вод. Система може бути використана для виявлення забруднень, що виникають внаслідок аварій (наприклад, скидів хімічних речовин або їх розливів у водні джерела), незвичних викидів (наприклад, неочищені стічні води) та природних подій (наприклад, цвітіння водоростей).

Система може бути реалізована як самостійна програма моніторингу, або бути включена в регіональну, державну та глобальну систему моніторингу навколишнього середовища.

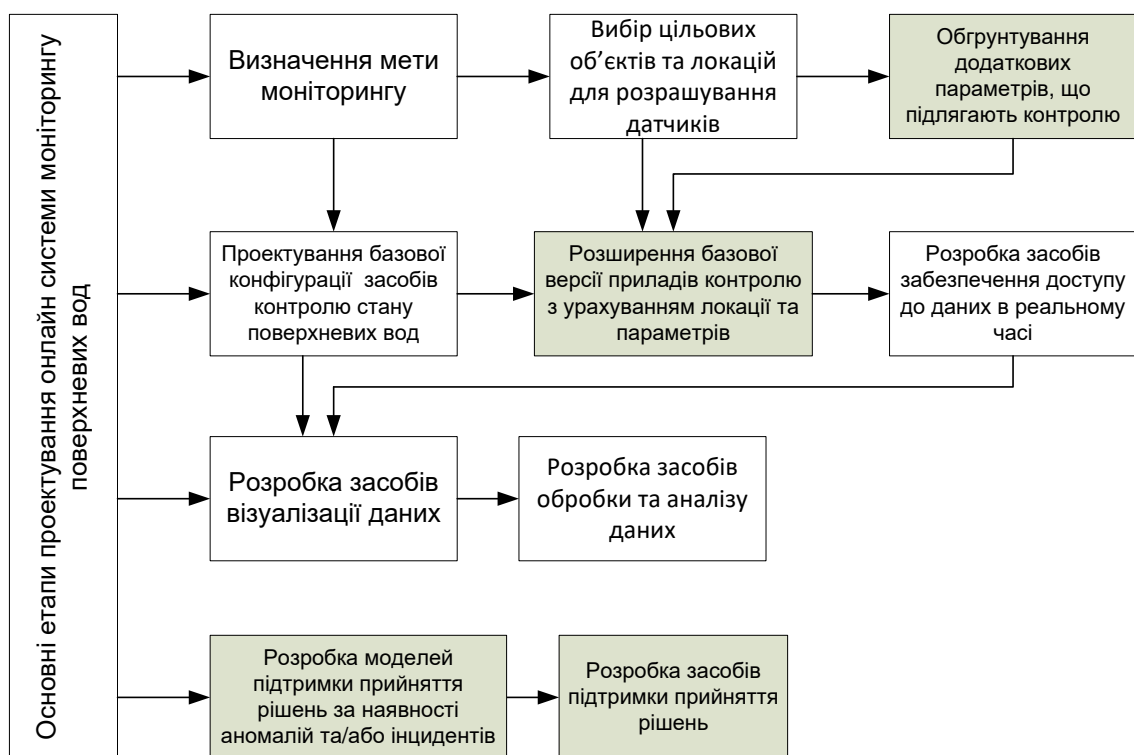


Рисунок 1.7 – Узагальнена схема проектування системи онлайн моніторингу поверхневих вод

Таким чином, можливо визначити наступні цілі впровадження системи моніторингу на базі IoT:

- Надання інформації, для полегшення захисту систем громадського водопостачання для низки передбачених цілей;
- Дотримання довгострокових тенденцій якості води джерел для підготовки до майбутніх змін;
- Виявлення та реагування на випадки забруднення (зараження);
- Оптимізація процесів обробки для поліпшення якості та зменшення витрат на підготовку води;
- Створення інформації, яка підтримує відповідність законодавства;
- Розслідування та визначення джерел забруднення та потенційно відповідальних сторін.

Користувачами системи можуть бути як державні агенції та органи басейнового управління, так і пересічні громадяни (рис.1.8).

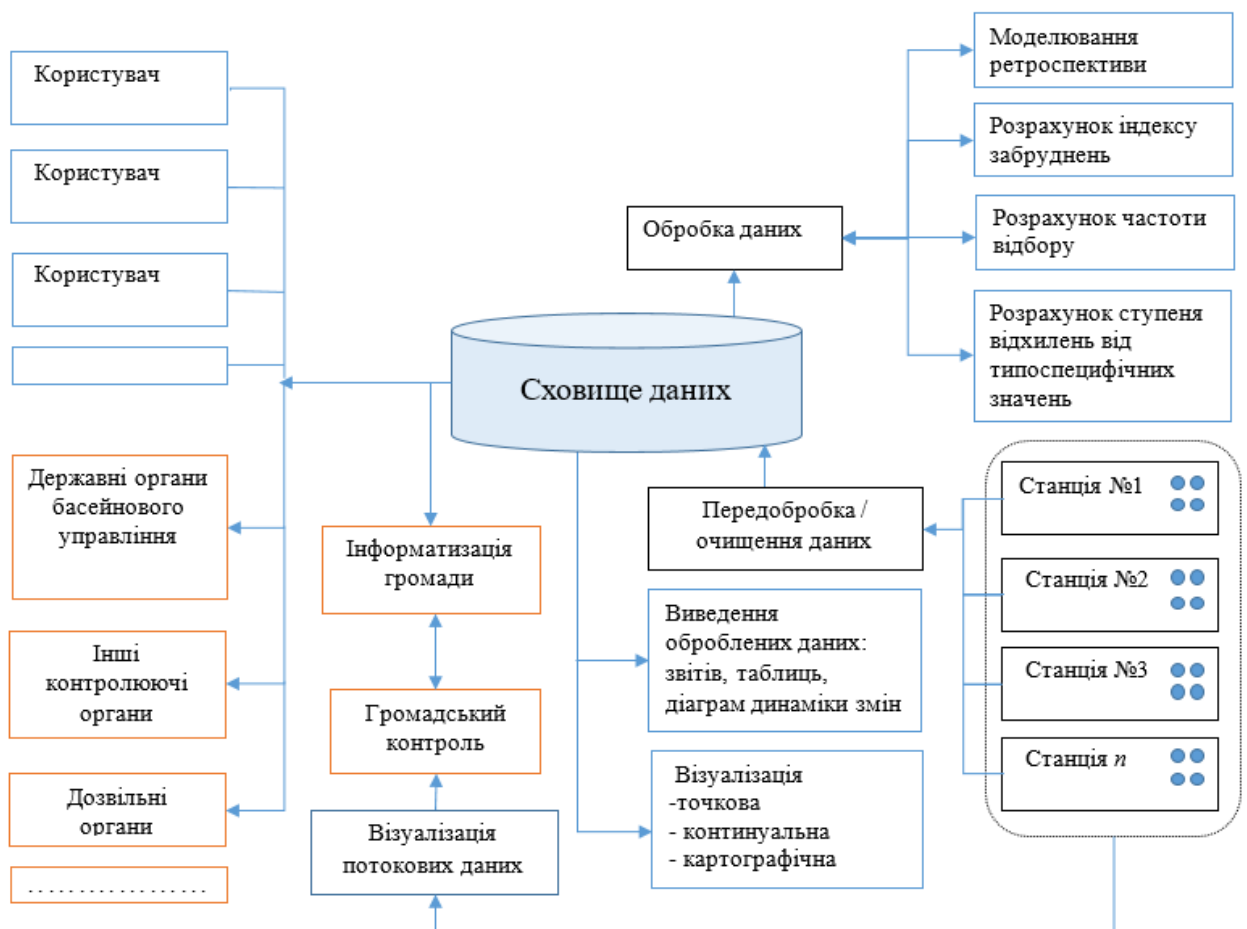


Рисунок 1.8 – Варіанти використання системи

Ефективне впровадження системи моніторингу, здатної надавати дані в режимі реального часу про різноманітні параметри якості води протягом

тривалих періодів часу, спирається на розробку надійних інформаційних технологій, інтелектуальних систем, датчиків та систем мультидисциплінарного характеру і вимагає масштабування технологій та перевірки їх придатності. У цьому сенсі розробка моделей, методів та інформаційних технологій для розробки та впровадження таких систем дозволить отримати наступні переваги:

- Формалізовані процеси проектування;
- Можливість повторного застосування моделей та зміни конфігурації системи;
- Збір та доставка даних виконується з набагато вищою швидкістю, ніж досягнута за допомогою традиційних засобів збору даних та періодичних відвідувань місць;
- Багатостанційні мережі дозволяють запускати засоби потужної аналітики для співставлення даних та злиття даних з різних станцій, що в свою чергу може допомогти досягти кращого розуміння джерел забруднення;
- Дані, отримані в режимі реального часу можуть бути використані для кращого управління поверхневих вод та реагування на інциденти.

Разом з тим, варто відзначити, що незважаючи на всі переваги, засоби розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод все ще вимагають подальшого удосконалення. Протягом найближчих років моніторинг водних об'єктів в Європі буде посилюватися, щоб відповідати вимогам WFD (Директива Ради 2000/60 / ЄС) [25], і в цілому внаслідок тиску, що викликаний зміною клімату. Створення високоякісних довгострокових програм моніторингу вважається важливим для ефективного впровадження WFD [8]. Ідеальна система моніторингу найближчого майбутнього може складатися з мережі датчиків, розміщених у ключових місцях, здатних до автономної роботи протягом року або більше [12]. Дані моніторів мають передаватися за допомогою бездротової технології для обробки та інтерпретації. Хоча деякі елементи цієї ідеальної системи існують, необхідні постійні дослідження та розробки в ряді областей, що стосуються як розробки датчиків, так і польових випробувань.

1.6 Постановка наукового завдання та обґрунтування методики досліджень

Результати проведеного аналізу нормативної бази, моделей, методів й інструментальних засобів розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод показали необхідність подальшої розробки моделей, методів та інформаційних технологій для моніторингу водних об'єктів.

В роботі розглянуто водогосподарську ділянку в межах району річкового басейну Дону (20 ВГД), Суббасейн Сіверського Дінця (19 ВГД) № 3.7.1.12 (р. Сіверський Донець від кордону Донецької та Луганської областей до г/п Лисичанськ (виключаючи р. Красна, р. Борова) (рис. 1.9).

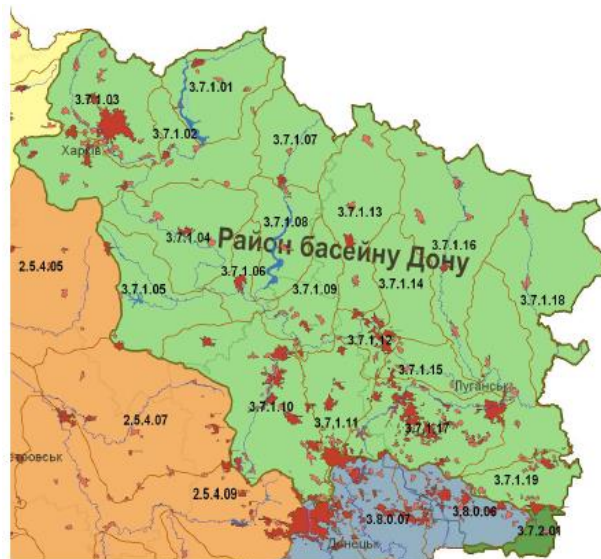


Рисунок 1.9 – Схема розмежування ділянок водотоків басейну річки Дон [6]

1.6.1 Загальна наукова задача

Науковим завданням дисертаційного дослідження є розробка інформаційної технології (ІТ) для системи моніторингу поверхневих вод на основі концепції інтернету речей, удосконалення моделей і методів які створять основи предметно-орієнтованої ІТ і дозволять реалізувати процеси підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні систем моніторингу водних об'єктів, з можливістю їх подальшої інтеграції в систему

моніторингу поверхневих вод. Технологія насамперед орієнтована на наступні сектори водних ресурсів, хоча не обмежена ними: моніторинг навколишнього середовища (відкриті водойми в екологічно чутливих районах; водойми; річки, озера; моніторинг стічних вод, моніторинг підземних вод); аквакультура (екстенсивні, напівінтенсивні ферми аквакультури; аквакультура на суші; аквакультура з контрольованим середовищем).

Результатом виконання наукового завдання має бути підвищення ефективності, обґрунтованості та об'єктивності процесів прийняття рішень по розробці та впровадженню систем моніторингу водних об'єктів, що розбудовуються на основі інтернету речей.

1.6.2 Часткові наукові завдання

1. Провести аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей.
2. Розробити технологію для розташування датчиків та IoT пристроїв системи моніторингу.
3. Розробити метод обробки даних для визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води.
4. Виконати удосконалення методології обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм.
5. Розробити елементи інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT.
6. Виконати практичне впровадження розроблених методів, моделей, засобів і технологій.

1.6.3 Методика досліджень

Методика дослідження ґрунтується на структурованих процесах збору та аналізу даних, що забезпечує їх інтерпретацію та висновки щодо даних дослідження. У дослідженні якості поверхневих вод використано кількісний

підхід, оскільки ця методологія дослідження є більш обґрунтованою для аналізу даних моніторингу. Кількісне дослідження передбачає об'єктивний аналіз із використанням статистичних засобів.

Дані показників поверхневих вод були зібрані здобувачем з різних джерел, а саме (1) шляхом тестового використання системи SmartWater, розробленої за безпосередньою участю автора, (2) з відкритих джерел - офіційних веб-сайтів національного водного агентства України, Сіверсько-Донецького управління водних ресурсів, (3) даних лабораторії охорони та контролю навколишнього середовища ТОВ «НВП «Зоря» (2007-2017 рр.).

На рис. 1.10 наведена запропонована в дисертаційній роботі методика досліджень, означені основні етапи, показані взаємозв'язки з використовуваними моделями, методами і технологіями, визначені напрями та послідовність виконання завдань.

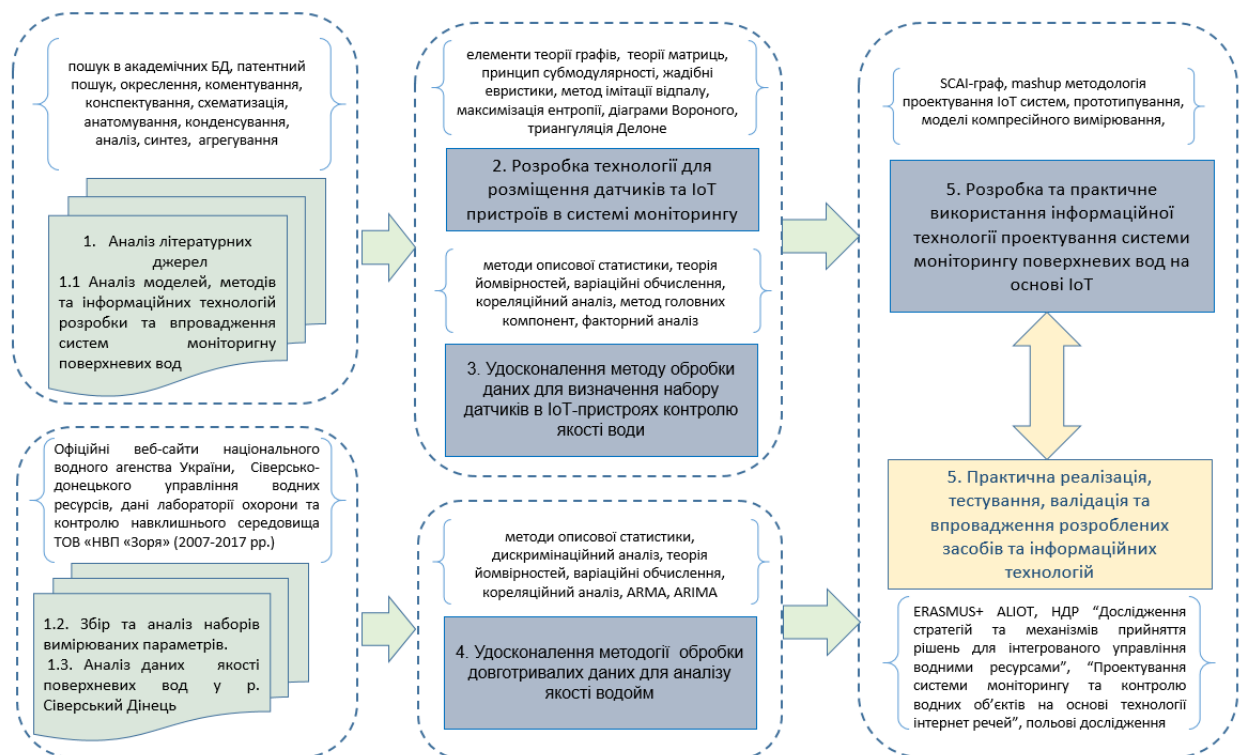


Рисунок 1.10 – Методика дисертаційного дослідження

Грунтуючись на вимогах до послідовності вирішення поставлених в роботі завдань і обраного математичного апарату, загальна методика

досліджень складається з наступних етапів: (1) аналіз літературних джерел розвитку галузі та стану питань пов'язаних з розробкою та впровадженням систем моніторингу поверхневих вод на основі IoT, формування наукових і практичних завдань роботи; (2) розробка технології для розташування датчиків та IoT пристроїв системи моніторингу; (3) удосконалення методу обробки даних для визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води; (4) удосконалення методології обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм; (5) розробка та практичне використання інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT; і (6) практична реалізація, валідація та впровадження розроблених засобів і технологій.

Висновок до розділу 1

1. У розділі проведено аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей. Виділено особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод, розглянуто передумови використання IoT для моніторингу річок та систем розподілу води, виконано аналіз можливостей використання IoT в гідрологічній області.

2. На основі проведеного аналізу виділено наукове завдання, сформульовані основні дослідницькі питання, та очікувані результати виконання наукового завдання.

3. Основна мета дослідження полягає у підвищенні ефективності процесів прийняття рішень пов'язаних з розробкою та використанням системи моніторингу поверхневих вод за рахунок розробки та інтеграції моделей, методів та інформаційних технологій на основі інтернету речей.

4. Результати аналізу технологічних передумов розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей, показали необхідність подальшої розробки моделей, методів та інформаційних технологій для моніторингу водних об'єктів.

5. На основі проведеного аналізу сформульовано загальне завдання дисертаційного дослідження, яке розбито на ряд часткових завдань, спрямованих на розробку технології розміщення та локалізації датчиків системи моніторингу води; розробки методу обробки даних для визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води; удосконалення методології обробки довготривалих даних для аналізу якості водою; розробку елементів інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT і їх практичну реалізацію.

Результати розділу опубліковано в роботах автора [3, 4, 8, 9, 16, 18 (Додаток А)]

Література до розділу 1

1. Водний кодекс України: Кодекс від 06.06.95 р. № 214/95-ВР / Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України. 1995. № 24. Ст.189.

2. Гребінь В.В., Мокін В.Б., Крижановський Є.М., Афанасьєв С.О. Оптимізація гідрографічного та водогосподарського районування України відповідно до світових підходів та умов водної рамкової директиви ЄС *Hydrobiological Journal* 52(5), September 2016. С. 81-92.

3. Краковська С. Звіт про науково-дослідну роботу "Розробка методики, алгоритмів та програмних заходів щодо отримання кількісного сценарію можливих кліматичних змін у Луганській області до 2050 року на основі даних регіональних чисельних моделей клімату" / Проект: Кількісна оцінка та прогнозування стану кліматичної системи за даними спостережень та даних регіональних кліматичних моделей, Мау 2012. DOI: 10.13140/RG.2.2.28387.30249.

4. Краковська С.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Паламарчук Л.В. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. Фізика атмосфери, метеорологія і кліматологія. Наукова праця УкрНДГМІ, 2016, Вип. 268.

5. Критська Я.О., Сіряк Р.В., Скарга-Бандурова І.С. Система моніторингу водних об'єктів на основі IoT. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017р.: у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ». С. 92.

6. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу / В. В. Гребінь, В. Б. Мокін, В. А. Сташук, В. К. Хільчевський, М. В. Яцюк, О.В.Чунар'ов, Є. М. Крижановський, В. С. Бабчук, О. Є. Ярошевич - К.: Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.

7. Міністерство екології і природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. Режим доступу <https://menr.gov.ua/> (20.10.2020).

8. Мюллер Д., Юнгандреас А., Кох Ф., Шірхорн Ф. Звіт з аграрної політики «Вплив кліматичних змін на виробництво пшениці в Україні» (APD/APR/02/2016) Проект «Німецько-український агрополітичний діалог». Інститут економічних досліджень та політичних консультацій. К., 2016. Режим доступу: https://apd-ukraine.de/images/APD_APR_05-2016_impact_on_wheat_ukr_fin.pdf (14.11.2020).

9. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.94 р. № 4005-XII / Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України. 1994. № 27. Ст.218.

10. Степова О.В. Моніторинг поверхневих вод. навчальний посібник / О.В. Степова, В.В. Рома. Полтава: ПолтНТУ, 2017. 82 с.

11. Abbasi T., Abbasi S.A. (2012). *Water Quality Indices*. Elsevier, 384 p. ISBN 978-0-444- 54304-2.

12. Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Mumtaz S., Qamar A. M. (2019). Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies. *Water Supply*. doi:10.2166/ws.2019.144.

13. Ancona M., Dellacasa A., Delzanno G., La Camera A., Rellini I. (2015) An “Internet of Things” Vision of the Flood Monitoring Problem. *AMBIENT 2015: The*

Fifth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies. pp. 26-29.

14. ASCE. 2004. Guidelines for designing an online contaminant monitoring system. Режим доступа: <http://www.asce.org/static/1/wise.cfm#Monitoring> (17.11.2020).

15. American Water Works Association AWWA. 2004. Security guidance for water utilities. Режим доступа: <http://www.awwa.org/science/wise> (17.11.2020).

16. Bande S., Shete V. (2017). Smart flood disaster prediction system using IoT & neural networks, *2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*, Bengaluru, India, 2017, pp. 189-194, doi: 10.1109/SmartTechCon.2017.8358367.

17. Beier U., Degerman E., Bergquist B. (2001). The use of fish and its implications for ecological classification of running waters in Sweden. W: *Bäck S., Karttunen K. (red.). Classification of ecological status of lakes and rivers*. Nordic Council of Ministers. TemaNord 2001:584: pp. 40-46.

18. Bernard T., Kühnert C., Campbell E. (2019) Web-based Machine Learning Platform for Condition- Monitoring. In: *Beyerer J., Kühnert C., Niggemann O. (eds) Machine Learning for Cyber Physical Systems. Technologien für die intelligente Automation (Technologies for Intelligent Automation)*, vol 9. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58485-9_5.

19. Blöschl G., Hall J., Parajka J., et al. (2017) Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. Vol. 357(6351), pp. 588-590. doi: 10.1126/science.aan2506. PMID: 28798129.

20. Bolbot H.V., Grebin V.V. Modern transformation of seasonal runoff distribution of the Siverskyi Donets river basin doi: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.5>.

21. Boyacioglu H. (2007). Surface water quality assessment using factor analysis. *Water SA*, vol. 32(3). doi:10.4314/wsa.v32i3.5264.

22. Broeke J. V.D. (2005) A short evaluation of the Scan Spectrolyser, *Evaluation Report project number 111508.030*, Kiwa, Netherlands, Jan. 2005.

23. Briem E. (2003). Gewässerlandschaften der Bundesrepublik Deutschland. ATV-DVWKArbeitsbericht, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef. 56 p.
24. Costa M.E.L., Tsuji T.M., Koide S. (2019) Evaluation of conductivity as surrogate water quality parameter for urban storm water studies in central Brazil. <http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/1C3P-260COS.pdf> (03.11.2020).
25. CIRCA 2003 Monitoring under the Water Framework Directive Policy Summary to Guidance Document 7, Produced by Working Group 2.7—Monitoring, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Published Guidance Documents CIRCA Library.
26. Edmondson V., Cerny M., Lim M., Gledson B., Lockley S., Woodward J. (2018). A smart sewer asset information model to enable an ‘Internet of Things’ for operational wastewater management. *Automation in Construction*, vol. 91, pp. 193-205.
27. Edzwald J. K., Becker W. C., Wattier K. L. (1985). Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors. *Journal American Water Works Association*, 77(4), pp. 122–132. doi:10.1002/j.1551-8833.1985.tb05521.x.
28. Eliades D.G., Panayiotou C.G., Polycarpou M.M. (2014) Contamination Event Detection in Water Distribution Systems Using a Model-based Approach. *Procedia Engineering*. Vol. 89. pp. 1089-1096.
29. EPA. 2007. Water Security Initiative: Interim Guidance on Planning for Contamination Warning System Deployment. Revision 1. July.
30. EPA. 2009. Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results. October, 2009. Режим доступа https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/distribution_system_water_quality_monitoring_sensor_technology_evaluation_methodology_results.pdf
31. European Communities. WFD CIS Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)/ Guidance document № 10 River and

lakes – Typology, reference conditions and classification systems. Luxembourg, 2003. 87 p.

32. Farooq M. U., Waseem M., Mazhar S., Khairi A., Kamal T. (2015) A Review on Internet of Things (IoT), *Intern. Journal of Computer Applications*, vol.113 (1), pp. 1-7.

33. Francés-Chust J., Izquierdo J., Montalvo I. (2019) LoRaWan for Smarter Management of Water Network: From metering to data analysis. In: *Beyerer J., Kühnert C., Niggemann O. (eds) Machine Learning for Cyber Physical Systems. Technologien für die intelligente Automation (Technologies for Intelligent Automation)*, vol 9. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58485-9_15.

34. Furquim G., Filho G.P.R., Jalali R., Pessin G., Pazzi R.W., Ueyama, J. (2018). How to improve fault tolerance in disaster predictions: A case study about flash floods using IoT, ML and real data. *Sensors*, vol. 18(3), 20.

35. Gao C., Yan J., Yang S., Tan G. (2011) Applying Factor Analysis to Water Quality Assessment: A Study Case of Wenyu River. In: *Li S., Wang X., Okazaki Y., Kawabe J., Murofushi T., Guan L. (eds) Nonlinear Mathematics for Uncertainty and its Applications. Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 100. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22833-9_66.

36. Geetha S., Gouthami S. (2015) Review: Internet of things enabled real time water quality monitoring system. *Smart water*. Режим доступа www. URL <https://smartwaterjournal.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s40713-017-0005-y?site=smartwaterjournal.springeropen.com> (14.06.2020).

37. Gorchev H.G., Ozolins G. (1984) WHO guidelines for drinking-water quality, *WHO Chron*, vol. 38 (3) pp. 104-108, 10.1016/S1462-0758(00)00006-6.

38. Hu C., Li M., Zeng D., Guo S. (2016). A survey on sensor placement for contamination detection in water distribution systems. *Wireless Networks*, 24(2), 647–661. doi:10.1007/s11276-016-1358-0.

39. Janauer A. G. (2001) Macrophytes and the classification of the ecological status in rivers and lakes. W: *Bäck S., Karttunen K. (red.). Classification of*

ecological status of lakes and rivers. Nordic Council of Ministers. TemaNord 2001:584: pp. 20-22.

40. Jolliffe I.T. (1972). Discarding variables in principal component analysis. I: artificial data. *Appl. Statist.* Vol. 21 (2), pp. 160-173.

41. Jolliffe I.T. (1973). Discarding variables in principal component analysis II: real data. *Appl. Statist.* Vol. 22 (1), pp. 21-31.

42. КАРТАТМ 3000 АС4. Режим доступа: http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/kapta_3000/home_kapta-3000/ (15.12.2020).

43. Li T., Xia M., Chen J., Zhao Y., de Silva C. (2017) Automated Water Quality Survey and Evaluation Using an IoT Platform with Mobile Sensor Nodes. *Sensors*. Vol. 17. 1735; doi:10.3390/s17081735.

44. Libelium, Smart water sensors to monitor water quality in rivers, lakes and the sea (2018), Режим доступа <http://www.libelium.com/smart-water-sensors-to-monitor-waterquality-in-rivers-lakes-and-the-sea/> (12.11.2020).

45. Lin J., Yu W., Zhang N., Yang X., Zhang H., Zhao W. (2017) A survey on internet of things: Architecture enabling technologies security and privacy and applications, *IEEE Internet of Things Journal*, vol.4 (5), pp. 1125-1142.

46. Malek S.A., Avanzi F., Brun-Laguna K., Maurer T., Oroza C.A., Hartsough P.C., Glaser S.D. (2017). Real-time alpine measurement system using wireless sensor networks. *Sensors*, vol. 17(11), 30.

47. Manrique J.A., Rueda-Rueda J.S., Portocarrero J.M.T. (2016) Contrasting Internet of Things and Wireless Sensor Network from a Conceptual Overview. *2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*. doi:10.1109/ithings-greencom-cpscom-smartdata.2016.66

48. Martinez J.M.P., Llavori R.B., Cabo M.J.A, and Pedersen T.B. (2007) Integrating Data Warehouses with Web Data: A Survey, *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, preprint, 21 Dec. 2007, doi:10.1109/TKDE.2007.190746.

49. Michta E., Szulim R., Sojka-Piotrowska A., Piotrowski K. (2017). IoT based flood embankments monitoring system. In R. S. Romaniuk, & M.

Linczuk (Eds.), *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017* (Vol. 10445). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering.

50. Mischke U., Nixdorf B., Behrendt H. (2002). On typology and reference conditions for phytoplankton in rivers and lakes in Germany. W: Rouppa M., Karttunen K. (red.). Typology and ecological classification of lakes and rivers. Nordic Council of Ministers. TemaNord, 2002: 566: pp. 44-49.

51. Mokin V.B., Mokin B.I. Control over volume and quality of sewage water in the river waterway. *Proceedings XVII IMEKO World Congress Metrology in the 3rd Millenium* June 22-27, 2003, Dubrovnik, Croatia.-p. 2090-2093.

52. Muangprathub J., Boonnam N., Kajornkasirat S., Lekbangpong N., Wanichsombat A., Nillaor P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 156, pp. 467-474. doi:10.1016/j.compag.2018.12.011

53. Ouyang Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis *Water Research* 39 (2005): pp. 2621-2635. DOI:10.1016/j.watres.2005.04.024.

54. Ouyang Y., Nkedi-Kizza P., Wu Q.T., Shinde D., Huang C.H. (2006) Assessment of seasonal variations in surface water quality, *Water Research*, vol. 40, pp. 3800-3810. DOI:10.1016/j.watres.2006.08.030.

55. Philadelphia Water Department Contamination Warning System Demonstration Pilot Project: Selection of Online Water Quality Monitoring Technologies and Station Design. (2013) РЕЖИМ ДОСТУПУ https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/pwd_report_selection_of_owqm_technologies_station_design.pdf (20.12.2020).

56. Radhakrishnan V. and Wu W. (2018) IoT technology for Smart water system, in *Proc. 2018 IEEE 20th Intern. Conf. on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th Intern. Conf. on Smart City; IEEE 4th Intl. Conf. on Data Science and Systems*, pp. 1493-1498.

57. Robles T., Alcarria R., Mart'ın D., Navarro M., Calero R., Iglesias S., Lopez M. (2015) An IoT based reference architecture for smart water management

processes. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA)*. vol. 6, no. 1, pp. 4-23.

58. Sarawi S. A., M. Anbar, K. Alieyan, M. Alzubaidi. (2017) Internet of Things (IoT) communication protocols: Review, in *Proc. IEEE International conf. on Information Technology*, 23 Oct. 2017.

59. Sensor Network Design for Drinking Water Contamination Warning Systems A Compendium of Research Results and Case Studies Using the TEVA-SPOT Software Режим доступа: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=498251 (16.09.2020).

60. S::can. Intelligent. Optical. Режим доступа: <https://www.pma.uk.com/spectrolyser/> (12.10.2020).

61. Shi Y., Zhang L., Wei G. (2014). The design and application of the groundwater monitoring system based on the internet of things in the HeiHe river basin. In S. B. Choi, P. Yarlagađa, & M. AbdullahAlWadud (Eds.), *Sensors, Mechatronics and Automation*, Vol. 511-512, pp. 319-325.

62. Smart IoT Technology for Flood and Water Level Monitoring. Режим доступа [www. URL http://advantech-bb.com/smart-iot-technology-for-flood-and-water-level-monitoring/](http://advantech-bb.com/smart-iot-technology-for-flood-and-water-level-monitoring/) (21.11.2020).

63. Solheim A. L. (2002). Typology and reference conditions for Norwegian lakes and rivers. W: Rouppa M., Karttunen K. (red.). Typology and ecological classification of lakes and rivers. Nordic Council of Ministers. TemaNord, 2002:566: pp. 35-36.

64. Sommerhäuser M. (2002). Stream typology, reference conditions and stream assessment in Germany. W: Rouppa M., Karttunen K. (red.). Typology and ecological classification of lakes and rivers. Nordic Council of Ministers. TemaNord: 2002:566: pp. 18-22.

65. Staedter T. (2018) 100,000 IoT sensors monitor a 1,400-kilometer canal in China. Режим доступа <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/a-massive-iot-sensor-network-keeps-watch-over-a-1400kilometer-canal> (18.06.2020).

66. Sutadian A.D., Muttill N., Yilmaz A.G., Perera B.J.C. (2017) Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index. *Ecol. Indic.* Vol. 75, pp. 220-233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.043>.
67. Taboada-Castro M. M., Rodríguez-Blanco M. L. (2007) Assessment of seasonal variations in stream water by principal component analysis. *Ecosystems and Sustainable Development VI 539*, www.witpress.com, ISSN 1743-3541 (online), *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 106. DOI:10.2495/ECO070511.
68. Tripathi M., Singal S. K. (2019). Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: A case study of river Ganga India. *Ecological Indicators*, vol. 96, pp. 430-436. doi:10.1016/j.ecolind.2018.09.025.
69. Tunc Dede O., Telci I.T. Aral, M.M. (2013) The Use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. *Water Qual Expo Health* vol. 5, pp. 41-56. <https://doi.org/10.1007/s12403-013-0085-3>.
70. Turcu C., Turcu C., Gaitan V. (2018) An Internet of Things Oriented Approach for Water Utility Monitoring and Control, Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1811/1811.12807.pdf> (09.10.2020).
71. Uddin M. G., Nash S., Olbert A.I. (2021) A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122, 107218. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107218.
72. Wan X., Volpetti F., Petrova E. et al. (2019) Cascaded amplifying circuits enable ultrasensitive cellular sensors for toxic metals. *Nat Chem Biol* vol. 15, pp. 540–548. <https://doi.org/10.1038/s41589-019-0244-3>.
73. Wang Y., Wang M., Ren F. National surface water quality monitoring and effective forecasting system. *Journal of Geomatics* 43(2), April 2018: pp.123-126. DOI: 10.14188/j.2095-6045.2016316.
74. Wang S. M., Zhang Z. J., Ye Z. L., Wang X. J., Lin X. Y., Chen S. H. (2013). Application of environmental internet of things on water quality

management of urban scenicriver. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, vol. 20(3), pp. 216-222.

75. 21. Wasson J.G., Chandesris A., Pella H., Blanc L., 2002. Typology and reference conditions for surface water bodies in France – the hydro eco-region approach. W: Rouppa M., Karttunen K. (red.). Typology and ecological classification of lakes and rivers. Nordic Council of Ministers. TemaNord, 2002:566: pp. 37-41.

76. Zhang, Q., Precision Agriculture Technology for Crop Farming, CRC Press. pp. 249–58, 2015.

77. Zhou J., Li Y., Tian X. (2013) Fuzzy evaluation and analysis of surface water, *Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal*. Vol. 12 (3), pp. 497-502.

78. Zieminska-Stolarska A, Imbierowicz M, Jaskulski M, Szmidt A, Zbiciński I. (2019) Continuous and Periodic Monitoring System of Surface Water Quality of an Impounding Reservoir: Sulejow Reservoir, Poland. *Int J Environ Res Public Health*. Vol. 16(3): 301. doi: 10.3390/ijerph16030301.

79. Zeng D., Wu X., Wang Y., Chen H., Liang K., Shu L. (2013). A survey on sensor deployment in underwater sensor networks. In *China Conference wireless sensor networks*. Berlin Heidelberg: Springer. pp. 133-143.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЇ РОЗМІЩЕННЯ ДАТЧИКІВ ТА ІОТ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВОДИ

У розділі представлено традиційну та удосконалену моделі мережі IoT датчиків, призначених для визначення місць розташування поверхневих та підводних вузлів. Кожну з моделей супроводжено відповідними технологіями розміщення. Запропоновано новий метод розташування датчиків, що поєднує технологію розташування на основі ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування.

2.1 Загальна постановка задачі розміщення датчиків системи моніторингу поверхневих вод

Нехай P – скінченна підмножина місць розташування із базового набору V і для будь-якого доступного розміщення можливо визначити якість зондування $F(P) \geq 0$, і вартість зв'язку $c(P) \geq 0$, де функції F і c визначаються у відповідності до задач моніторингу. Тоді, задача розміщення датчиків системи моніторингу може бути сформульована як задача оптимізації виду (2.1) або (2.2):

$$\min_{P \subseteq V} c(P) \text{ за умови } F(P) \geq Q, \quad (2.1)$$

де Q – деяка квота, $Q > 0$, що позначає необхідний рівень визначеності, досягнутий за рахунок розміщення датчика.

$$\max_{P \subseteq V} F(P) \text{ за умови } c(P) \leq C, \quad (2.2)$$

де C – бюджет на розгортання системи моніторингу, $C > 0$.

У вигляді (2.1), задача оптимізації вирішує *проблему покриття* і спрямована на пошук розміщення, яке забезпечує задану величину визначеності щодо відповідного параметру моніторингу Q за мінімальних витрат c .

У вигляді (2.2), задача оптимізації вирішує *проблему максимізації* та спрямована на пошук найбільш інформативного розміщення за умови обмеженого бюджету щодо вартості зв'язку.

Обидві задачі можуть бути розглянуті у контексті дискретизації простору на кінцеву множину точок V , що лежать у вузлах сітки. Для кожної пари місцеположень у V можливо визначити граничну вартість як очікувану кількість повторних передач, необхідних для надсилання повідомлення між цими вузлами (оскільки якості посилянь асиметричні, напрямом, що дає найгірший результат буде використаний як вартість).

Основною проблемою при вирішенні задач оптимізації (2.1) і (2.2) є те, що простір пошуку (можливі підмножини $P \subseteq V$) – експоненціальний і згідно [8], така задача відноситься до класу NP-повних як наслідок необмеженої задачі оптимізації. З огляду на це, необхідно знайти ефективний спосіб наближення до оптимального рішення з гарантіями продуктивності. Інтуїтивно, проблема розміщення однотипних датчиків задовольняє наступну властивість: Чим більше датчиків вже розміщено, тим менше користі від додавання нового датчика. Ця інтуїція може бути оформлена концепцією *субмодулярності* наступним чином [11]:

Набір функцій F , визначених на підмножинах V , називається субмодулярним, якщо $\forall P \subseteq B \subseteq V$ виконується (2.3)

$$F(P \cup \{s\}) - F(P) \geq F(B \cup \{s\}) - F(B), \quad (2.3)$$

де s визначає розташування датчиків, що цікавить $s \in V - B$. Функція F монотонна якщо $F(P) \leq F(B) \forall P \subseteq B \subseteq V$.

2.2 Моделі розташування датчиків у водорозподільній системі річкових басейнів

Для вирішення задач розташування (2.1)-(2.2), у наступних підрозділах розглянуто два типа моделей – типова модель розташування датчиків і станцій моніторингу без урахування глибини занурення та трьохкомпонентна модель з підводними вузлами.

2.2.1 Модель мережі датчиків якості води без урахування глибини

Типова модель мережі датчиків і станцій моніторингу складається з двох основних компонентів, а саме вузла та базової станції, як показано на рис. 2.1.

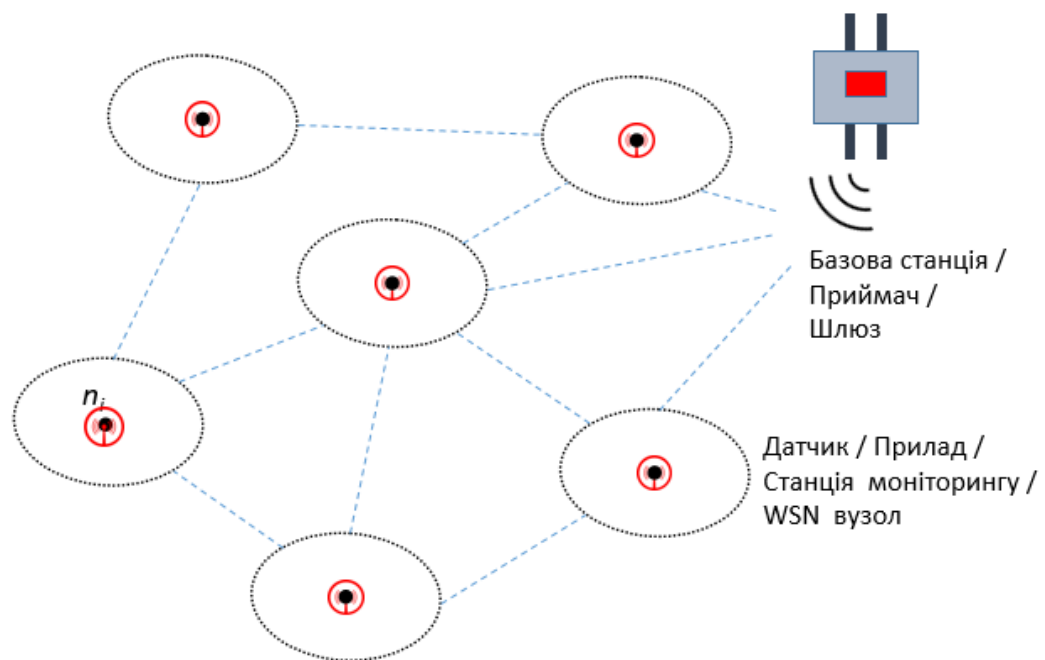


Рисунок 2.1 – Типова модель мережі, адаптовано з Libelium, 2016 [12].

Вузол - це прилад / пристрій, який зазвичай оснащений одним або декількома датчиками, обробкою та можливостями зв'язку, і відповідає за вимірювання параметрів, пов'язаних з конкретним завданням моніторингу.

Базова станція відповідає за збір і забезпечення доступу до всіх даних вимірювань з вузлів, і може час від часу надавати шлюзові послуги, що

дозволяють віддалено керувати даними. WSN зазвичай використовують бездротову персональну мережу (WPAN) або стандарти широкосмугової мережі низької потужності (LPWAN) для передачі даних вимірювань на базову станцію.

У найпростішому виді, модель мережі датчиків системи моніторингу вод може бути представлена кортежем:

$$Z_1 = \langle \{P\}, \{\partial_m^P\}_{m=1}^2, \{W\}, \{\partial_k^W\}_{k=1}^3 \rangle, \quad (2.4)$$

де $\{P\}$ – множина місць, в яких можуть бути встановлені датчики, $\{\partial_m^P\}_{m=1}^2$ – множина параметрів, що є ознаками місця розташування датчика; $\{W\}$ – множина вимог до розгортання системи моніторингу, $\{\partial_k^W\}_{k=1}^3$ – множина параметрів, що характеризує вимоги до розташування.

Множина «місця для встановлення датчиків» $\{P\}$ має наступну множину атрибутів $\{\partial_m^P\}_{m=1}^2$, що є ознаками місця розташування датчика: ∂_1^P – ідентифікатор місця розташування, ∂_2^P – поточна геолокація.

Множина «вимоги до розгортання системи моніторингу» $\{W\}$, має наступну множину атрибутів $\{\partial_k^W\}_{k=1}^3$: ∂_1^W – ідентифікатор вимоги, ∂_2^W – необхідний рівень визначеності, досягнутий за рахунок розміщення датчика, ∂_3^W – бюджет на розгортання системи моніторингу, вартість установки і демонтажу датчика.

Модель (2.4) надає можливість виконати швидке налаштування мережі для максимізації взаємної інформації, але не враховує особливості розташування датчиків у двовимірному просторі, коли радіуси зондування датчиків можуть не досягати необхідної точки (рис. 2.2, а), перекривати кінцеві вузли (рис. 2.2, в) або один одного (рис. 2.2, б, г). На відміну від наземних датчиків або антен, датчики, встановлені на водорозподільних мережах водних басейнів діють уздовж досліджуваних ділянок водотоків, і їх покриття фактично є довжиною зондування, що діє вздовж довжини

відстежуваних русел, отже радіус дії оцінюється на рівні дуги, а не на рівні мережі.

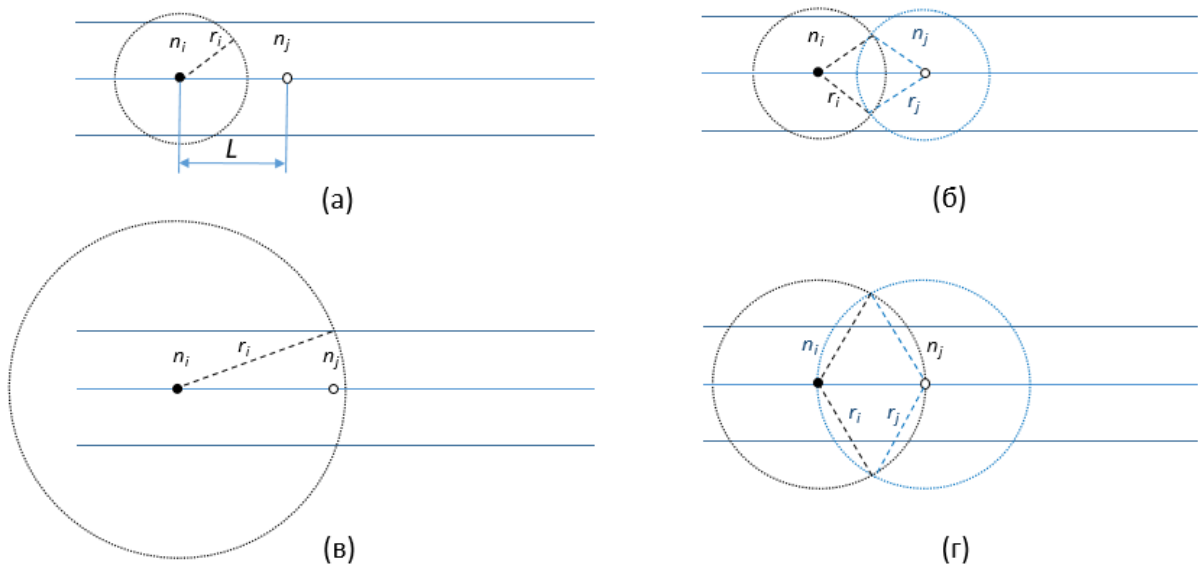


Рисунок 2.2 – Схеми розташування датчиків у двовимірному просторі

Для того, щоб врахувати перекриття радіусів зондування датчиків, розміщених на кінцевих вузлах дуги та / або довжини сегмента, менших за радіус зондування датчика, модель (2.4) може бути удосконалена за рахунок додавання множини типів IoT датчиків / приладів і параметрів, що є ознаками, таких як радіус зондування датчика r_i :

$$Z_2 = \langle \{T\}, \{\partial_l^T\}_{l=1}^3, \{P\}, \{\partial_m^P\}_{m=1}^3, \{W\}, \{\partial_k^W\}_{k=1}^3, \{S_0\} \rangle, \quad (2.5)$$

де $\{T\}$ – множина типів IoT датчиків / приладів, $\{\partial_l^T\}_{l=1}^3$ – множина параметрів, що є ознаками IoT датчика / приладу; $\{P\}$ – множина місць, в яких можуть бути встановлені датчики, $\{\partial_m^P\}_{m=1}^2$ – множина параметрів, що є ознаками місця розташування датчика; $\{W\}$ – множина вимог до розгортання системи моніторингу, $\{\partial_k^W\}_{k=1}^2$ – множина параметрів, що характеризує вимоги до розташування; $\{S_0\}$ – початкове розміщення датчиків.

Множина «тип датчика» $\{T\}$ використовується при описі формування мережі моніторингу і має наступну множину атрибутів $\{\partial_l^T\}_{l=1}^2$: ∂_1^T –

ідентифікатор типу датчика, ∂_2^T – радіус зондування датчика, ∂_3^T – поточна геолокація.

Множина «місця для встановлення датчиків» $\{P\}$ має наступну множину атрибутів $\{\partial_m^P\}_{m=1}^2$, що є ознаками місця розташування датчика: ∂_1^P – ідентифікатор місця розташування, ∂_2^P – довжина відрізка між місцями встановлення датчиків (відстань від точки контролю), ∂_3^P – поточна геолокація.

Множина «вимоги до розгортання системи моніторингу» $\{W\}$, має наступну множину атрибутів $\{\partial_k^W\}_{k=1}^3$: ∂_1^W – ідентифікатор вимоги, ∂_2^W – необхідний рівень визначеності, досягнутий за рахунок розміщення датчика, ∂_3^W – бюджет на розгортання системи моніторингу, вартість установки і демонтажу датчика.

В якості r_i приймається мінімальне значення між довжиною відрізка L_i і радіусом зондування датчика, x_i (у випадку одного датчика), або комбіновані радіуси зондування (у випадку з двома датчиками) (рис.2.2).

$$r_i = \min \{x_i; L_i\} \quad (2.6)$$

2.2.2 Модель мережі розташування датчиків з урахуванням підводних вузлів

Як зазначається в [3], через проблему розповсюдження стічних вод, традиційні методи моніторингу мають недолік збору даних моніторингу якості води, а саме – обмежену точність. Зразки, взяті з краю потоку, будуть відрізнятися від зразків, взятих поблизу середини. Швидкість і глибина води по краях створюють різні умови для росту рослин і життя тварин. Оскільки умови основного потоку можуть відрізнятися від умов біля берегів, ділянки моніторингу повинні розташовуватися в основному струмі і, якщо це можливо, подалі від берегів, в зонах основного потоку [4]. Для подолання цієї проблеми якість води бажано контролювати на різних рівнях глибини. Тому в

цій роботі розроблено пристрій, який може реалізувати тривимірний контроль якості води на різних рівнях глибини.

Крім того, на відміну від наземних WSN, для моніторингу вод часто розгортається велика кількість підводних датчиків. У такому випадку, мережа моніторингу може складатися не з двох, як це розглядалося у попередньому розділі, а з трьох компонентів (рис.2.3): якірних вузлів, підводних вузлів (датчиків) та базової станції (БС).

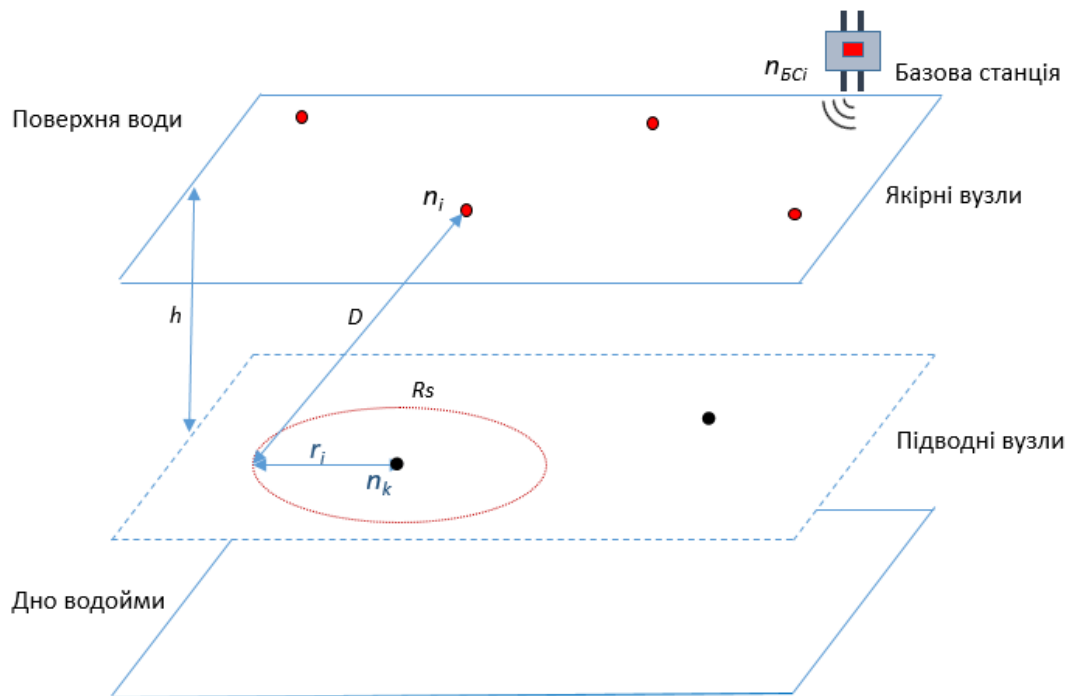


Рисунок 2.3 – Тривимірна модель розгортання мережі датчиків для моніторингу водного середовища

Якірні вузли (ЯВ) розміщені на поверхні води, представляють собою буї, що прикріплені тросом до дна. Місця знаходження ЯВ відомі, оскільки вони оснащені модулями глобальної системи позиціонування (GPS). IoT датчики/прилади випадково або рівномірно розгортаються на різній глибині, в залежності від завдань покриття цільової області. Вони перебувають у пасивному русі з оточуючими, щоб передавати дані на якірні вузли.

ЯВ збирає вимірювання від датчиків і доставляє до БС, де виконується алгоритм локалізації та подальший аналіз даних. БС має високу потужність та велику ємність для обчислень та зберігання.

Для того, щоб врахувати наявність підводних вузлів, модель (2.5) може бути надалі удосконалена за рахунок додавання нової характеристики до множини типів IoT датчиків / приладів і параметрів, що є ознаками а саме регулювання глибини датчика D :

$$Z_3 = \langle \{T\}, \{\partial_l^T\}_{l=1}^4, \{P\}, \{\partial_m^P\}_{m=1}^4, \{W\}, \{\partial_k^W\}_{k=1}^3 \rangle, \quad (2.7)$$

де множина «тип датчика» $\{T\}$ має наступну множину атрибутів $\{\partial_l^T\}_{l=1}^4$: ∂_1^T – ідентифікатор типу датчика, ∂_2^T – радіус зондування датчика, ∂_3^T – поточна геолокація, ∂_4^T – глибина занурення датчика.

Множина «місця для встановлення датчиків» $\{P\}$ має наступну множину атрибутів $\{\partial_m^P\}_{m=1}^4$, що є ознаками місця розташування датчика: ∂_1^P – ідентифікатор місця розташування, ∂_2^P – довжина відрізка між місцями встановлення датчиків (відстань від точки контролю), ∂_3^P – поточна геолокація, ∂_4^P – глибина, на яку слід налаштувати датчик.

Множина «вимоги до розгортання системи моніторингу» $\{W\}$, має наступну множину атрибутів $\{\partial_k^W\}_{k=1}^3$: ∂_1^W – ідентифікатор вимоги, ∂_2^W – необхідний рівень визначеності, досягнутий за рахунок розміщення датчика, ∂_3^W – бюджет на розгортання системи моніторингу, вартість установки і демонтажу датчика.

Глибина, на яку слід налаштувати вузли, задана ф. (2.8):

$$D = \Delta h + R_s, \quad (2.8)$$

де Δh представляє різницю глибин між перетином перекриттів покриття вузлів і поверхнею поточного шару води (рис. 2.4):

$$\Delta h = \sqrt{R_s^2 - \left(\frac{\eta_{Dis}}{2}\right)^2}. \quad (2.9)$$

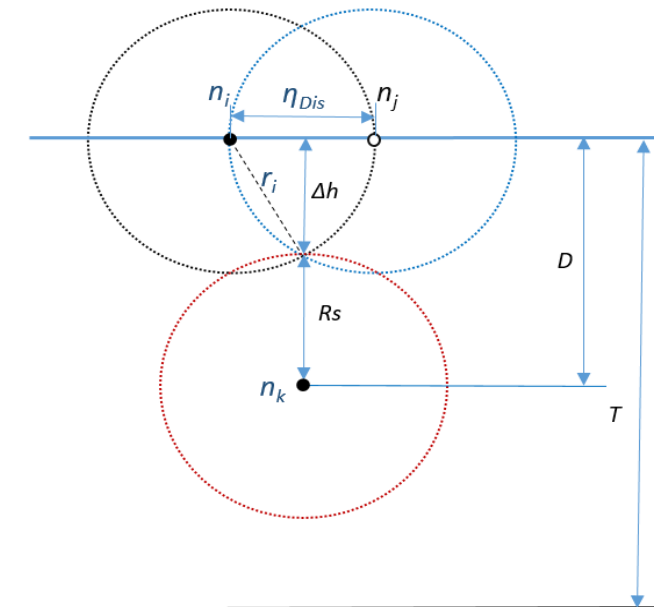


Рисунок 2.4 – Схема розташування датчиків з урахуванням глибини

2.3 Методи розташування датчиків у системі моніторингу води без урахування глибини

2.3.1 Метод розміщення на основі максимального покриття з використанням жадібних евристик

Для модель мережі датчиків системи моніторингу (2.4) загальні постановка задачі може бути скоригована наступним чином. Нехай P – набір місць, в яких можуть бути встановлені датчики, а q – кількість датчиків, які необхідно встановити. Щоб вирішити задачу розташування, рішення методом грубої сили необхідно перерахувати всі \mathbb{C}_P^q розгортання датчиків, де \mathbb{C} являє собою біноміальний коефіцієнт [1]. Для розміщення необхідно розрахувати $\sum_{0 \leq i \leq k_1} C_{|S_0|}^i C_{|V|-|S_0|}^{i+k_2}$ можливих розгортань, де S_0 - початкове розміщення датчиків.

В обох випадках простір пошуку є експоненціальним. Отже, з обчислювальної точки зору важко знайти глобальне оптимальне розгортання для великої водної мережі за допомогою підходу вичерпного перерахування. Оскільки, з будь-якою функцією набору F можна пов'язати жадібний алгоритм [8], найпростішим способом подолання складності є застосування жадібного підходу до вирішення задачі розташування. Реалізація швидкого рішення для

максимізації взаємної інформації з використанням жадібного алгоритму відбувається наступним чином. Базовий жадібний евристичний алгоритм (рис. 2.5) починається з порожнього місця $S = 0$ і виконується ітеративно. На кожній ітерації визначається нове місце $v \in V$, яке призводить до найбільшого збільшення F , тобто

$$\delta_v = F(S \cup \{v\}) - F(S), \quad (2.10)$$

$v_c = \arg \max_{v \in S} (\delta_v)$ додається до S . На кожній ітерації завжди обирається таке місце, яке охоплює найбільшу кількість непокритих сценаріїв.

```

Input: Locations  $P \subseteq V$ 
Output:  $v_1, v_2, \dots, v_{|L|}$ ,  $L_i = \{v_1, \dots, v_i\}$ 
begin
   $P_0 \leftarrow 0$ ;
  for  $j = 1$  to  $|S|$  do
     $p_j \leftarrow \operatorname{argmax}_{p \in P - P_{j-1}} F(S_{j-1} \cup \{p\})$ ;  $P_j \leftarrow P_{j-1} \cup p_j$ ;
  end
end

```

Рисунок 2.5 – Основні кроки жадібного алгоритму для максимізації взаємної інформації

В роботі [14] показано, що така жадібна процедура дає рішення, близькі до оптимального для класу неубутних субмодулярних функцій.

Зокрема, для будь-якого випадку розміщення, жадібний алгоритм завжди повертає таке розміщення датчика S , при якому $F(S) \geq (1-1/e) F(S')$, де S' - глобальне оптимальне рішення для випадку, що розглядається.

Отже, жадібні рішення досягають коефіцієнта апроксимації не менш $1 - 1/e \approx 63\%$ в порівнянні з глобальним оптимальним рішенням. Однак цей результат справедливий лише тоді, коли не береться до уваги вартість зв'язку і не вирішуються разом проблеми покриття та максимізації (2.1) та (2.2).

Дійсно, оскільки жадібний алгоритм не враховує відстані, він вважає за краще розмістити два високоінформативні датчики дуже далеко один від одного, щоб задовольнити виконання умови для квоти Q , тоді як більш дешеве рішення може бути якщо вибрати три датчики, які є трохи менш

інформативними, але які знаходяться ближче один до одного. Така постановка цілком узгоджується з концепцією ентропії, представленій у наступному підрозділі.

2.3.2 Розташування однотипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини

2.3.2.1 Базові припущення

Вперше, ідея ентропії успадкована від термодинаміки і запропонована Хартлі як міра інформації у випадковому сигналі [9]. Пізніше, Шеннон визначив ентропію $H(X)$ випадкового процесу $\{X_n\}$, як кількість інформації в процесі [15]. З того часу, ентропія $H(X)$, у своєму класичному визначенні, вважається метрикою порядку та стійкості системи, і математично може бути оцінена як добуток функції маси ймовірності (p_X) змінної X , помноженої на натуральний логарифм оберненої ймовірності:

$$H(X) = \sum_X p_X \ln \left(\frac{1}{p_X} \right). \quad (2.11)$$

Оскільки, ентропія є показником упорядкованості та стабільності системи, максимізуючи значення, коли система перебуває у стані „рівноправності”, то більш високий ступінь ентропії також має свідчити про більш збалансовану систему відносно розподілу інформації, тобто інформація, яка формується та розподіляється між її частинами, має однакову цінність.

Ґрунтуючись на цьому припущенні, проблему оптимізації розміщення датчиків можна переформулювати як задачу максимізації ентропії.

2.3.2.2 Уточнення задачі для розташування датчиків на основі ентропії

В контексті вищезгаданого, стохастичне визначення ймовірності p_X можливо замінити статистичним визначенням, замінивши значення p_X у

рівнянні ентропії (2.11) на відношення радіуса зондування датчика до загальної довжини мережі. Тоді загальна ентропія мережі $H(N)$ для однотипного датчика може бути розрахована за [5]:

$$H(N) = \sum_{i=1}^{n_t} \left[\frac{r_i}{L_T} \ln \left(\frac{1}{r_i/L_T} \right) \right] = - \sum_{i=1}^{n_t} \left[\frac{r_i}{L_T} \ln \left(\frac{r_i}{L_T} \right) \right], \quad (2.12)$$

де r_i - радіус зондування датчика i , n_t - загальна кількість датчиків у мережі, а L_T - загальна довжина водотоку.

Рівняння (2.12), однак, базується на коефіцієнті (r/L_T) , який не виявляє класичних властивостей ймовірності, коли розміщені датчики не охоплюють всю довжину ділянки водотоку, і, отже, не є математично правильним [7]. Тому воно має бути додатково скореговане для того, щоб відповідати класичним властивостям теорії ймовірностей та ентропії, врахуючи той факт, що датчики на місцях з'єднання декількох дуг сприяють рівням ентропії цих дуг, і уникнути скупчення датчиків лише на декількох частинах мережі, приймаючи відношення r/L на основі довжини дуги, а не довжини мережі.

З цією метою, значення p_x приймається як відношення радіуса датчика до довжини мережевої дуги. Тоді, загальна ентропія системи може бути обчислена як сума значень ентропії для кожної дуги (2.13).

$$H(N) = \sum_{i=1}^{n_t} \left[\frac{r_i}{L_i} \ln \left(\frac{1}{r_i/L_i} \right) \right] = - \sum_{i=1}^{n_t} \left[\frac{r_i}{L_i} \ln \left(\frac{r_i}{L_i} \right) \right]. \quad (2.13)$$

Для IoT приборів, що містять різні типи датчиків загальну ентропію мережі можна аналогічним чином визначити як

$$H(N) = \sum_{j=1}^{n_r} \sum_{i=1}^{n_t} \left[\frac{r_{i,j}}{r_{T,j}} \ln \left(\frac{r_{i,j}}{r_{T,j}} \right) \right], \quad (2.14)$$

де j - індекс типу датчика; n_r - кількість різних типів датчиків, використаних у проекті; $r_{i,j}$ - радіус покриття одиниці датчика типу j , що використовуються на вузлі i ; n_t - загальна кількість датчиків у мережі, $r_{T,j}$ - загальна кількість одиниць датчика типу j , що використовуються в мережі.

Отже, метою оптимізації розміщення IoT датчиків є максимізація загальної ентропії мережі за умови встановлених обмежень покриття IoT датчика / пристрою (2.15)-(2.16):

$$H(N)_{max} = \max \left(\sum_{j=1}^{n_r} \sum_{i=1}^{n_t} \left[\frac{r_{i,j}}{r_{T,j}} \ln \left(\frac{r_{i,j}}{r_{T,j}} \right) \right] \right), \quad (2.15)$$

$$n_t = \min$$

За умов (2.16)

$$\sum_{i=1}^{n_t} (r_{i,j}) \leq (r_{T,j}) \quad \forall j,$$

$$r_{i,j} \in \mathbb{Z} \quad \forall j, \quad (2.16)$$

$$r_{i,j} > 0.$$

Обмеження у наведених вище рівняннях стосуються: (i) загальних обмежень доступності датчиків системи, (ii) припущення, що призначення датчиків мають ціле значення (дробові призначення датчиків заборонені як нефізичні призначення), і (iii) виключення призначення нульових значень датчиків для будь-якого з мережевих вузлів, що потребують датчиків.

2.3.2.3 Процедура реалізації методу розташування одностипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини

Спочатку передбачається, що вузли мережі не мають датчиків і початковий рівень ентропії мережі дорівнює нулю. Метод для вирішення задачі розміщення базується на підході, запропонованому в [5] і складається з наступних семи кроків, останні два з яких виконуються ітераційно.

Крок 1: Визначення місць для встановлення датчиків.

Для множини $\{P\}$ «місця для встановлення датчиків» з параметрами N – кількість вузлів, що описують точки контролю, E – кількість дуг, що поєднують відповідні точки контролю та L – відстані між двома точками контролю (n_i, n_j) будується мережа у вигляді неорієнтованого зваженого графа $G(N, E)$.

Крок 2: Побудова матриці суміжності графа.

Для графа G будується відповідна матриця суміжності $A_{[N \times N]}$, для якої $\alpha_{i,j}$ – вага ребра, що поєднує вершини (n_i, n_j) дорівнює відстані L між двома точками контролю:

$$A = \|\alpha_{i,j}\|$$

Крок 3: Вибір типу датчика для кожної точки контролю.

Для кожного потенційного місця контролю, обирається датчик, що характеризується радіусом дії r_i .

Крок 4: Розрахунок загальної ентропії системи моніторингу

Для графа G і матриці суміжності $A_{[N \times N]}$ розраховується повна ентропія мережі за ф. (2.14), причому якщо для двох точок контролю (n_i, n_j) відстань між якими L використовується лише один датчик у вузлі n_i з радіусом дії r_i який не перекриває обидві точки контролю $r_i \leq L$ (рис. 2.2 (а)), то для обчислення ентропії використовується ф. (2.13), при $r_i > L$ радіус покриття розраховується за ф. (2.6).

Якщо використовуються два датчики (у вузлах n_i та n_j) і радіус покриття датчиків не перекривається або дорівнює довжині між точками контролю (n_i, n_j) , тобто $(r_i + r_j) \leq L$ то для розрахунку ентропії він сумується.

Для випадків, проілюстрованих на рис. 2.2 (б), (г), коли радіус покриття датчиків перекриває точки контролю, обирається найменша відстань:

$$r_{i,j} = \begin{cases} r_i + r_j, & \text{якщо } (r_i + r_j) \leq L, \\ \min((r_i + r_j), L), & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Отримане в результаті розрахунку значення ентропії є референтним для вирішення задачі оптимізації (2.1) або (2.2).

Крок 5: Розрахунок сумарної ентропії кожного вузла

Для кожного вузла мережі виконується підрахунок ентропії за ф. (2.13), причому кожен вузол вважається незалежним від іншого, тобто враховуються всі ребра, що поєднують вершину n_i з іншими вершинами. Сумарна ентропія вузла розраховується як сума ентропій:

$$H_{n_i}^{\theta} = \sum_i H_i^{\theta}(N)$$

Крок 6: Ранжування сумарних ентропій кожного вузла та вибір місця розташування датчика.

Сумарні ентропії вузлів ранжуються за спаданням. В якості вузла для розміщення датчика обирається вузол, який вносить максимум до ентропії мережі.

Крок 7: Коригування значень ентропії сполучених вузлів.

Після призначення датчика на вузлі n_i , значення ентропії сполучених вузлів коригуються з урахуванням вже встановленого датчика в мережі. Вважається, що для кожного сегмента існує не одна в дві точки контролю. Корекція відбувається шляхом розрахунку різниці між ентропіями сегмента де встановлено два датчика замість одного, на кроці 5:

$$\Delta H = H_{n_i}^{\theta} - H(N)$$

Відповідно, виконати корекцію сумарної ентропії сполучених вузлів.

Кроки 6,7 повторюються до тих пір, поки не буде досягнуто задану кількість встановлених датчиків або не завершаться всі можливі варіанти встановлення.

2.3.3 Вирішення задачі перерозподілу датчиків в моніторинговій мережі

Задача перерозподілу датчиків в існуючій моніторинговій мережі вимагає уточнення постановок, наданих у (2.1)-(2.2) і формулюється наступним чином [18].

Нехай S_0 – початкове розміщення датчиків у вихідній водній мережі, S – скориговане розміщення датчиків у розширеній мережі, $|S| \geq |S_0|$. Щоб знизити вартість розгортання нової мережі S , можливе повторне використання S_0 . При цьому виділяється принаймні два сценарія повторного використання:

1. Датчик зберігається в тому ж самому місці, $S \cap S_0$ містить такі місця розташування датчиків. Плата за повторне використання не стягується.

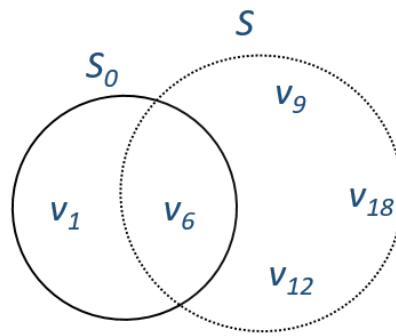
2. Початкове розміщення датчика змінюється і він переноситься в інше місце. Такий тип повторного використання вимагає додаткової вартості на видалення з попереднього місця дислокації та повторне встановлення.

Нехай $S_1 \subseteq S$ – набір розташування, в якому датчики повторно використовуються згідно другого випадку. Відносини між S_1 , S_0 та S для досліджуваного прикладу показані на рис. 2.5.

Нехай також C_1, C_2 – вартість установки і демонтажу датчика відповідно. Вартість заміни існуючого датчика в іншому місці може бути приблизно дорівнює C_1 та C_2 . Припустимо, що дано загальний бюджет C . Тоді очікується, що $|S_1| (C_1 + C_2) + (|S| - |S_0|)C_1 \leq C$.

В загальному випадку, C_1, C_2 розглядаються як постійні витрати на підтримку базової системи моніторингу. Отже, обмеження вартості еквівалентно обмеження $|S_1|$ і $|S| - |S_0|$.

Таким чином, можливо використовувати два вхідних параметра k_1, k_2 для відповідних обмежень $|S_1|$ і $|S| - |S_0|$, щоб точно змодельовати обмеження вартості.



$$S_1 = S_0 - S = \{v_1\}$$

Рисунок 2.5 – Схема перерозподілу датчиків в моніторинговій мережі

Для водної мережі G з місцями розташування датчиків L , початковим розміщенням датчиків $S_0 \in P$ і двома цілими числами k_1, k_2 знайти нове розміщення датчика $S \subseteq P$ таке, що задовольняє умовам (2.17)-(2.19):

$$|S_1| \leq k_1, \quad (2.17)$$

$$|S| - |S_0| = k_2, \quad (2.18)$$

$$F(S) = \max. \quad (2.19)$$

де $S_1 = |S_0| - |S|$ – набір місць, в яких датчики були видалені з S_0 і замінені на розташування датчика поза S_0 ; і

Припустимо, що $k_1 = 2, k_2 = 5$, це означає, що можливо змінити місце розташування не більше ніж двох датчиків, розгорнутих в початковій мережі S_0 , і додати 5 датчиків до нової мережі. Завдання полягає в пошуку рішення по розміщенню датчика, такого, що задовільнить умови (2.5)-(2.7), тобто $|S_0 - S| \leq 2, |S| - |S_0| = 5$ і $F(S) = \max$.

Згідно робіт [11-13], для виявлення всіх сценаріїв в A необхідна експоненціальна кількість датчиків, що недоступна в реальному світі через обмежений бюджет. Більш реалістичною задачею для реальних додатків є охоплення як можна більшого числа сценаріїв в межах встановленого бюджету. Для вирішення цієї задачі пропонується виконання наступної процедури.

Крок 1: Обирається набір датчиків в S_0 , які при новому розміщенні залишаються без змін: $n_{i0} = |S_0| - k_1$.

Крок 2: Виконується оновлення ентропії для кожного місця розташування датчика $v \in P - n_{i0}$, в якому датчик ще не розгорнуто, шляхом виключення сценаріїв, які охоплюються датчиками $|S_0| - k_1$.

Крок 3: Запускається метод, описаний в п. 2.2.2.3, який обчислює рішення для розгортання датчиків $k_1 + k_2$ на $P - n_{i0}$.

Крок 4: Результат останнього кроку об'єднується з i n_{i0} .

Очевидно, що найбільш трудомісткою задачею є вибір датчиків які при новому розміщенні залишаються без змін. Стратегія вибору, яка використовується для вибору, значно впливає на якість остаточного розміщення датчика.

З цією метою можливо використання декількох стратегій вибору кандидата: випадкова, жадібна та метод імітації відпалу. Ефективність трьох стратегій визначається в процесі тестування.

1. Випадкова евристика є найпростішою і полягає у випадковому виборі $|S_0| - k_1$ датчиків з вихідного положення датчика S_0 таким чином, щоб кожен датчик мав однакову ймовірність бути обраним.

2. Жадібна евристика ідентична тій, що використовується в описаному вище алгоритмі й починається з пустого розміщення, $S = 0$. Далі, продовжується $|S_0| - k_1$ раз ітеративно. На кожній ітерації вибирається вершина $v \in S_0$ з максимальним значенням $\delta(v)$ відносно решти вершин в S_0 .

3. Імітація відпалу починається з випадкової евристики для вибору датчиків $|S_0| - k_1$, позначених як S_{RH} . Для визначеного S_{RH} виконується заснований на локальному пошуку підхід, званий імітацією відпалу, щоб отримати локальне оптимальне рішення. Імітація відпалу виконується ітеративно. Нехай S_{cur} буде рішенням, яке потрібно оптимізувати на поточній ітерації.

У кожному раунді імітація відпалу пропонує випадковий обмін обраними вершинами $\in S_{cur}$ і невибраними вершинами $\in S_0 - S_{cur}$, потім обчислює функцію поліпшення якості для обміну s, s' за допомогою

$$\alpha(s, s') = F(S_{cur} \cup \{s\} - \{s'\}) - F(S_{cur}) \quad (2.20)$$

Якщо $\alpha(s, s')$ є позитивним, тобто операція обміну покращує поточне рішення, пропозиція приймається. В іншому випадку пропозиція приймається з імовірністю $\exp\frac{\alpha(s,s')}{\vartheta_t}$, де ϑ_t - температура відпалу на етапі t , а $\vartheta_t = C_q^t$ для деякої великої постійної C і невеликої постійної q ($0 < q < 1$). Такі обміни повторюються до тих пір, поки кількість ітерацій не досягне зазначеного користувачем верхньої межі.

2.4 Метод розташування датчиків у системі моніторингу води з урахуванням глибини

Для низки практичних застосувань, є необхідність використання тривимірної моделі розгортання мережі датчиків для моніторингу водного середовища. У цьому випадку задача оптимізації моніторингової мережі (2.1) може бути уточнена наступним чином: максимізувати загальне охоплення тривимірного підводного простору, за мінімальної кількості вузлів датчиків.

Для підводних вузлів, коли необхідно регулювати глибину до більш глибокого шару, найбільш часто використовуваним підходом є діаграма Вороного [2]. Щоб визначити, наскільки підводний датчик потребує зміни глибини, використовується середня площа всіх багатокутників Вороного, за яку відповідають вузли на тій самій глибині води, що і встановлений поріг. Якщо площа багатокутника Вороного менша за середню площу загальних полігонів Вороного однакової глибини, вузол, відповідальний за багатокутник Вороного, вноситься до списку місць з регулюванням глибини, причому, приймається що у даному випадку вирішується лише одна задача, а отже виконується зміна місцеположення вузла у двовимірній області R^2 . Діаграма Вороного набору таких вузлів ділить простір на багатокутники. Кожна точка багатокутника ближче до вузла в цьому багатокутнику, ніж до будь-якого

іншого вузла. У двовимірній області R^2 багатокутник Вороного (рис. 2.6) визначається за (2.21):

$$V(n_i) = \{x \in R^2 \mid |n_i - x| \leq |n_j - x|, i \neq j\}, \quad (2.21)$$

де n_i – набір вузлів датчиків.

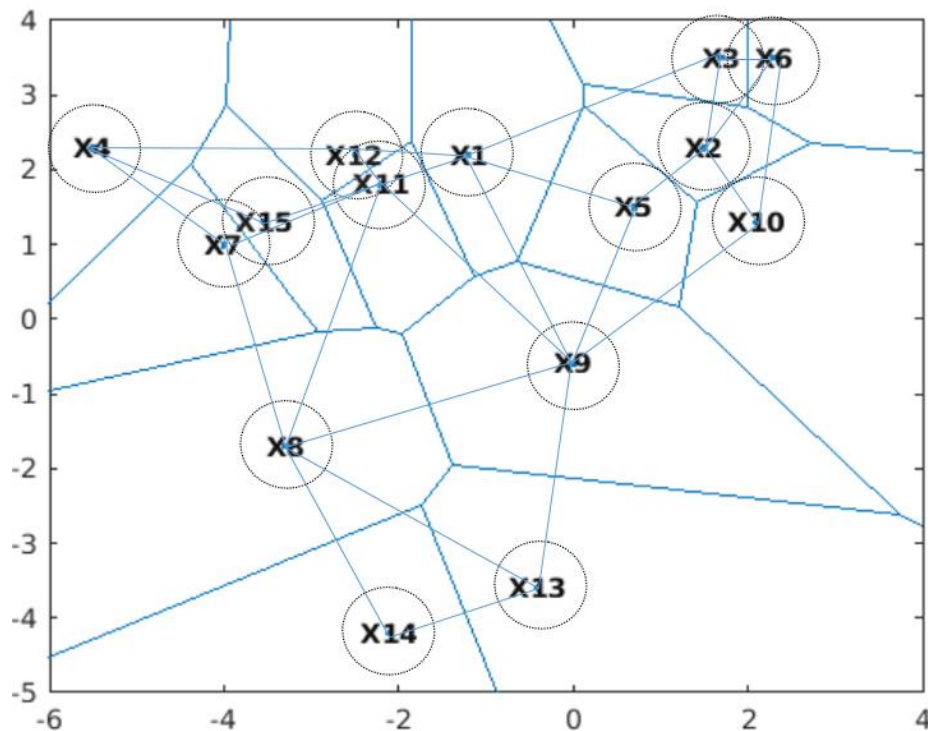


Рисунок 2.6 – Фрагмент діаграми Вороного і триангуляції Делоне для області R^2 з 15 датчиками

Процедура визначення вузлів з регулюванням глибини основана на методі Вороного і триангуляції Делоне [2, 16] та складається з наступних кроків:

Крок 1: Розрахувати всі площі багатокутників Вороного в поточному шарі води.

Для набору точок вузлів з регулюванням глибини виконується їх сортування у напрямку розгортки. Загальний алгоритм сортування точок у напрямку x або y , виконується з лексографічно упорядкованими точками, що означає, що якщо виконується сортування за значенням y і отримуються відповідні рівні y , то після перевірки x відсортовуються дві точки за

напрямок x . Далі виконується пошук параболи перетину нового упорядкування і повертаються значення y в дузі, створеній старою точкою.

Рівняння для будь-якої параболи, задане алгоритмом розгортки лінії Fortune [6, 17], дається рівнянням (2.22):

$$\varepsilon_j = y = \frac{(x^2 - 2xp_{j,x} + p_{j,x}^2 + p_{j,y}^2 - l_y^2)}{2(p_{j,y} - l_y)}, \quad (2.22)$$

де p_{jx} і p_{jy} дорівнює відстаням x і y до центральної точки конуса над лінією розгортки, L_y - положення лінії розгортки, x - розташування нової точки перетину на лінії розгортки.

Формула (2.22) використовується для всіх точок, пройдених лінією розгортки, щоб знайти ту, яка дає найкоротшу лінію від точки до лінії розгортки. Розрахунок ε_j для всіх точок, дозволяє генерувати всі дуги з усіх точок, в яких спадає лінія розгортки.

Крок 2: Обчислити середню площу загальних полігонів Вороного за ф. (2.23).

$$\eta_{Area} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{N}, \quad (2.23)$$

де A_i являє собою область багатокутника Вороного $V(n_i)$, N - загальна кількість вузлів у поточному шарі.

Крок 3: Визначення набору вузлів для яких буде проводитися регулювання глибини.

На даному кроці проводиться порівняння площі кожного з вузлів з середнім значенням, $A_i < \eta_{Area}$. Приймається, що вузол n_i потребує регулюванням глибини, якщо його відповідний многокутник Вороного має меншу площу, ніж середнє значення.

Крок 4: Після визначення всіх вузлів з регулюванням глибини одного шару, обчислити середню відстань (η_{Dis}) між кожними двома вузлами за ф. (2.24):

$$\eta_{D_{is}} = \frac{\sum_{i \neq j}^N d_{ij}}{k}, \quad (2.24)$$

де d_{ij} – відстань між будь-якими двома вузлами n_i та n_j , а k - кількість пар вузлів.

У зоні моніторингу з N вузлами кількість пар вузлів k може бути визначені за ф. (2.5):

$$k = \frac{N(N-1)}{2}. \quad (2.25)$$

Крок 5: Розрахунок діапазону Δh -відстаней

З рис. 2.3 видно, що перекриття радіусів між вузлами пов'язане з відстанню між вузлами. При $\eta_{D_{is}} > R_s$, розрив між вузлами набагато більший, ніж при $\eta_{D_{is}} < R_s$. Оскільки відстань $\eta_{D_{is}}$ продовжує збільшуватися, Δh досягне 0, при $\eta_{D_{is}} = R_s$. Визначаючи Δh , використовується принцип мінімізації: Вибір меншого Δh змусив би зону сліпоты, яку спричиняють вузли верхнього шару, покритися вузлами нижнього шару. При $\Delta h = 0$, сліпа зона може бути добре закрита вузлами нижнього шару.

З іншого боку, при $\eta_{D_{is}} < R_s$, виникають щільні вузли, які забезпечують значне перекриття зони покриття, оскільки відстань нескінченно близька до 0, Δh нескінченно близька до R_s : $\lim_{\eta_{D_{is}} \rightarrow 0} \Delta h = R_s$. Оскільки 0 є граничним значенням, до якого $\eta_{D_{is}}$ нескінченно близько, зона сліпого покриття все одно існуватиме між шарами, якщо $\Delta h = R_s$, отже, це не може гарантувати покриття сліпої зони покриття нижчим шаром. Оскільки $\lim_{\eta_{D_{is}} \rightarrow 0} \Delta h = \frac{\sqrt{3}}{2} R_s$, з урахуванням принципу мінімізації, $\Delta h = \frac{\sqrt{3}}{2} R_s$ ефективно зменшить зону сліпоты в ситуації коли $0 < \eta_{D_{is}} < R_s$.

Відповідно, діапазон Δh -відстаней розраховується наступним чином:

$$\Delta h = \begin{cases} 0, & \eta_{Dis} \geq R_s, \\ \frac{\sqrt{3}}{2} R_s, & 0 < \eta_{Dis} < R_s. \end{cases} \quad (2.26)$$

Крок 6: Визначення глибини

Враховуючи отриманий діапазон відстаней, ф. (2.8) для розрахунку глибини перетворюється на (2.27)

$$D = \begin{cases} R_s, & \eta_{Dis} \geq R_s, \\ R_s + \frac{\sqrt{3}}{2} R_s, & 0 < \eta_{Dis} < R_s. \end{cases} \quad (2.27)$$

Таким чином, кожен датчик рухається до своєї найдальшої вершини Вороного, зі встановленим значенням D (рис. 2.7). В даному випадку також використовується жадібний підхід, який орієнтований на покриття найбільшої відстані.

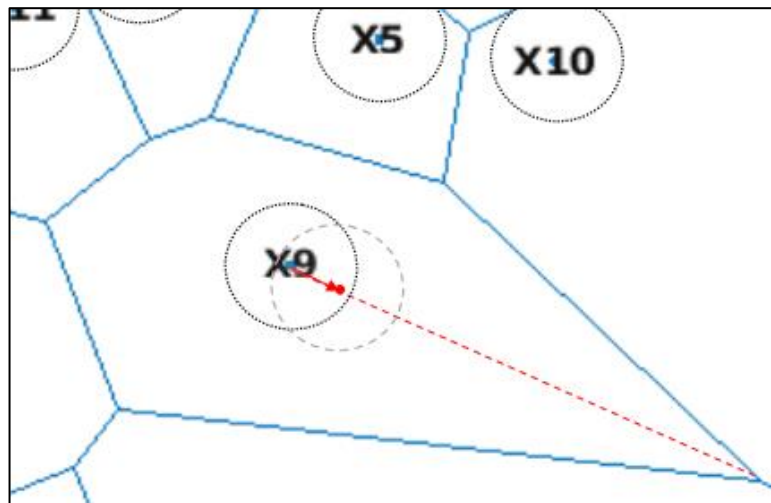


Рисунок 2.7 – Рух датчика у напрямі найбільшої відстані

2.5 Приклад реалізації методу розташування однотипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини

Крок 1: Визначення місця для встановлення датчиків.

Розглянемо мережу, що складається з 11 вузлів та 11 дуг, як показано на рис. 2.8.

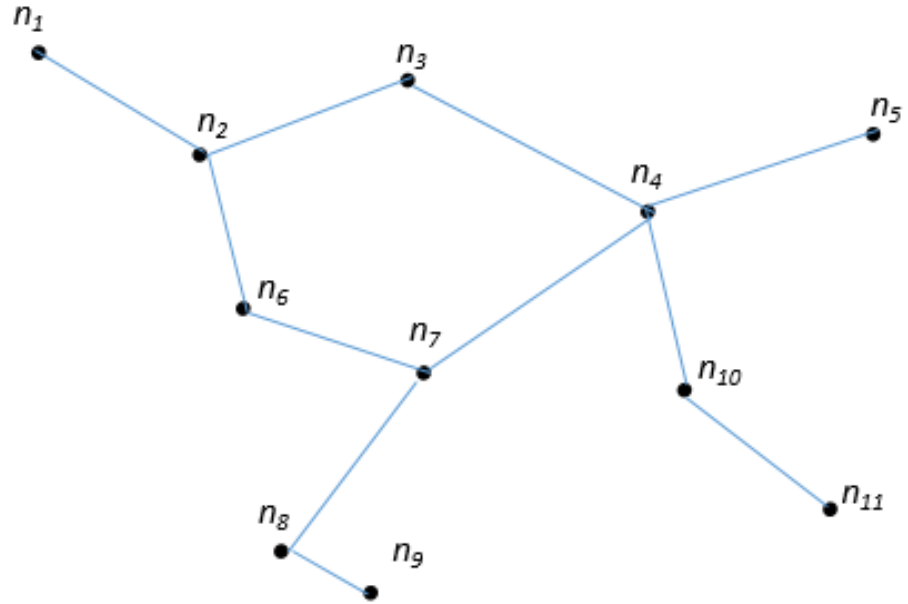


Рисунок 2.8 – Мережа місць для встановлення датчиків

Крок 2: Побудова матриці суміжності графа.

Нехай, відстані між точками контролю задані матрицею $A_{[N \times N]}$

	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}
n_1	0	200									
n_2	200	0	250			160					
n_3		250	0	300							
n_4			300	0	300		350			200	
n_5				300	0						
n_6		160				0	200				
n_7				350		200	0	250			
n_8							250	0	100		
n_9								100	0		
n_{10}				200						0	200
n_{11}										200	0

Крок 3: Вибір типу датчика для кожної точки контролю.

Припустимо, що для двох точок контролю (n_i, n_j) відстань між якими L задана матрицею використовується однаковий тип датчику з радіусом дії $r_i = 100$ м (рис. 2.9).

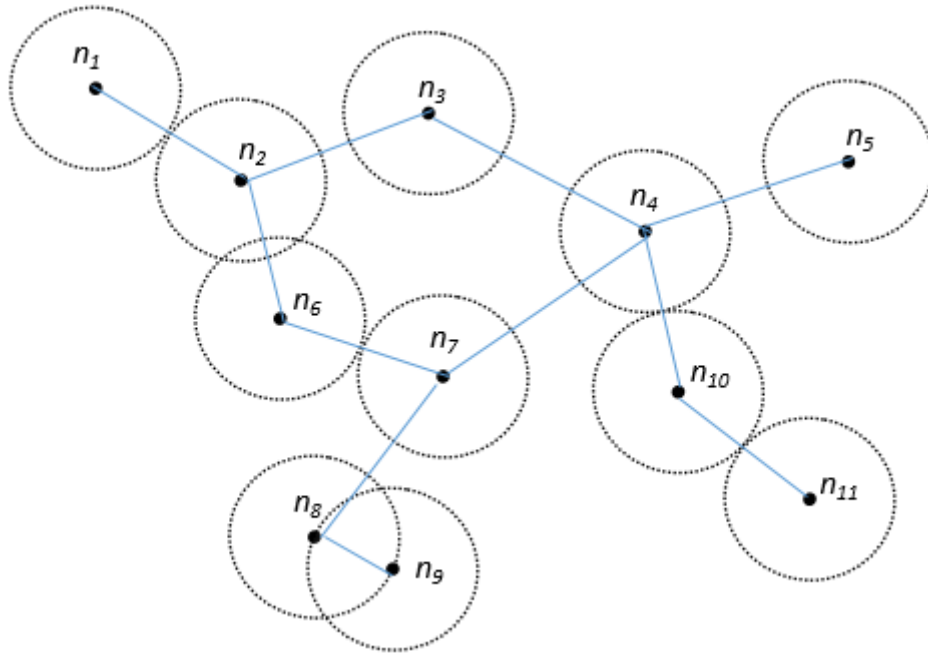


Рисунок 2.9 – Початкова мережа з встановленими датчиками

Крок 4: Розрахунок загальної ентропії системи

Ентропія мережі для топології, зображеної на рис.2.9, виражається наступним рівнянням:

$$H(N) = H_{1,2} + H_{2,3} + H_{3,4} + H_{4,5} + H_{2,6} + H_{6,7} + H_{4,7} + H_{4,10} + H_{10,11} + H_{7,8} + H_{8,9}$$

$$\begin{aligned} H(N) = & \left(-\frac{200}{200} \ln \left(\frac{200}{200} \right) \right) + \left(-\frac{200}{250} \ln \left(\frac{200}{250} \right) \right) + \left(-\frac{200}{300} \ln \left(\frac{200}{300} \right) \right) \\ & + \left(-\frac{200}{300} \ln \left(\frac{200}{300} \right) \right) + \left(-\frac{160}{160} \ln \left(\frac{160}{160} \right) \right) + \left(-\frac{200}{200} \ln \left(\frac{200}{200} \right) \right) \\ & + \left(-\frac{200}{350} \ln \left(\frac{200}{350} \right) \right) + \left(-\frac{200}{200} \ln \left(\frac{200}{200} \right) \right) + \left(-\frac{200}{200} \ln \left(\frac{200}{200} \right) \right) \\ & + \left(-\frac{200}{250} \ln \left(\frac{200}{250} \right) \right) + \left(-\frac{100}{100} \ln \left(\frac{100}{100} \right) \right) = 1.2174 \end{aligned}$$

Крок 5: Розрахунок сумарної ентропії для кожного вузла

1) Вузол n_1 має з'єднання з вузлом n_2 , довжина сегменту n_1n_2 складає $L = 200$ м.

$$H_{n_1n_2} = \left(-\frac{100}{200} \ln \left(\frac{100}{200} \right) \right) = 0.3466.$$

2) Вузол n_2 має з'єднання з вузлами n_1, n_3, n_6 , ентропія кожного сегменту складає:

$$H_{n_2n_1} = \left(-\frac{100}{200} \ln \left(\frac{100}{200} \right) \right) = 0.3466,$$

$$H_{n_2n_3} = \left(-\frac{100}{250} \ln \left(\frac{100}{250} \right) \right) = 0.3665,$$

$$H_{n_2n_6} = \left(-\frac{100}{160} \ln \left(\frac{100}{160} \right) \right) = 0.2938.$$

Сумарна ентропія вузла: $H_{n_2} = 1.0068$.

3) Вузол n_3 має з'єднання з вузлами n_2, n_4 , ентропія кожного сегменту складає: $H_{n_3n_2} = 0.3665$, $H_{n_3n_4} = 0.3662$.

Сумарна ентропія вузла: $H_{n_3} = 0.7327$.

4) Вузол n_4 має з'єднання з вузлами n_3, n_5, n_7, n_{10} , ентропія кожного сегменту складає: $H_{n_4n_3} = 0.3662$, $H_{n_4n_5} = 0.3662$, $H_{n_4n_7} = 0.3579$, $H_{n_4n_{10}} = 0.3466$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_4} = 1.4369$.

5) Вузол n_5 має з'єднання з вузлом n_4 , ентропія сегменту складає: $H_{n_5n_4} = 0.3662$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_5} = 0.3662$.

6) Вузол n_6 має з'єднання з вузлами n_2, n_7 , ентропія кожного сегменту складає: $H_{n_6n_2} = 0.2938$, $H_{n_6n_7} = 0.3466$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_6} = 0.6403$.

7) Вузол n_7 має з'єднання з вузлами n_4, n_6, n_8 ентропія кожного сегменту складає: $H_{n_7n_4} = 0.3579$, $H_{n_7n_6} = 0.3466$, $H_{n_7n_8} = 0.3665$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_7} = 1.0710$.

8) Вузол n_8 має з'єднання з вузлами n_7, n_9 , ентропія кожного сегменту складає: $H_{n_8n_7} = 0.3665$, $H_{n_8n_9} = 0$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_8} = 0.3665$.

9) Вузол n_9 має з'єднання з вузлом n_8 , ентропія сегменту складає: $H_{n_9n_8} = 0$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_9} = 0$.

10) Вузол n_{10} має з'єднання з вузлами n_4, n_{11} , ентропія кожного сегменту складає: $H_{n_{10}n_4} = 0.3466$, $H_{n_{10}n_{11}} = 0.3466$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_{10}} = 0.6931$.

11) Вузол n_{11} має з'єднання з вузлом n_{10} , ентропія сегменту складає: $H_{n_{11}n_{10}} = 0.3466$. Сумарна ентропія вузла: $H_{n_{11}} = 0.3466$.

Крок 6: Ранжування сумарних ентропій кожного вузла та вибір місця розташування датчика.

$$H_{n_4} > H_{n_7} > H_{n_2} > H_{n_3} > H_{n_{10}} > H_{n_6} > H_{n_8} > H_{n_5} > H_{n_1} \cong H_{n_{11}} > H_{n_9}$$

Після ранжування вузлових ентропій за спаданням, для розміщення датчика обирається вузол, який вносить максимум до ентропії мережі. Для досліджуваної мережі першим вузлом, в який має бути встановлений датчик, є вузол n_4 (як показано в табл. 2.1).

Крок 7: Коригування значень ентропії сполучних вузлів.

Після призначення датчика на вузлі n_4 , значення ентропії сполучних вузлів коригуються з урахуванням вже встановленого датчика в мережі.

Оскільки вузол n_4 має з'єднання з вузлами n_3, n_5, n_7, n_{10} , встановлення датчика у вузол n_4 створить зміну ентропії суміжних вузлів наступним чином:

$$\Delta H_{n_3n_4} = H_{n_3n_4} - \left(-\frac{200}{300} \ln \left(\frac{200}{300} \right) \right) = 0.3662 - 0.2703 = 0.0959,$$

$$\Delta H_{n_5n_4} = H_{n_5n_4} - \left(-\frac{200}{300} \ln \left(\frac{200}{300} \right) \right) = 0.3662 - 0.2703 = 0.0959,$$

$$\Delta H_{n_7n_4} = H_{n_7n_4} - \left(-\frac{200}{350} \ln \left(\frac{200}{350} \right) \right) = 0.3579 - 0.3198 = 0.0382,$$

$$\Delta H_{n_{10}n_4} = H_{n_{10}n_4} - \left(-\frac{200}{200} \ln \left(\frac{200}{200} \right) \right) = 0.3466 - 0 = 0.3466.$$

Сумарна ентропія вузла H_{n_3} : для попереднього $H_{n_3n_2} = 0.3665$ і оновленого $\Delta H_{n_3n_4} = 0.0959$ складає $H_{n_3} = 0.4624$.

Сумарна ентропія вузла H_{n_5} : для оновленого $\Delta H_{n_3n_4} = 0.0959$ складає $H_{n_5} = 0.0959$.

Сумарна ентропія вузла H_{n_7} : для попередніх $H_{n_7n_6} = 0.3466$, $H_{n_7n_8} = 0.3665$ і оновленого $\Delta H_{n_7n_4} = 0.0382$ складає $H_{n_7} = 0.7512$.

Якщо поточним завданням визначено, що задачею розташування є встановлення лише трьох датчиків в мережі, ітерації завершуються після досягнення необхідної кількості й, в якості вузлів, обираються такі, що вносять найбільшу ентропію в систему $n_4 \rightarrow n_2 \rightarrow n_7$ (рис. 2.10).

У випадку, якщо необхідне розміщення більшої кількості датчиків, то ітерації з розташуванням можуть бути продовжені доки не будуть запропоновані місця для всіх датчиків.

Варіанти конфігурації мережі для різної кількості датчиків, отриманих за розглянутою процедурою, наведено в табл. 2.2.

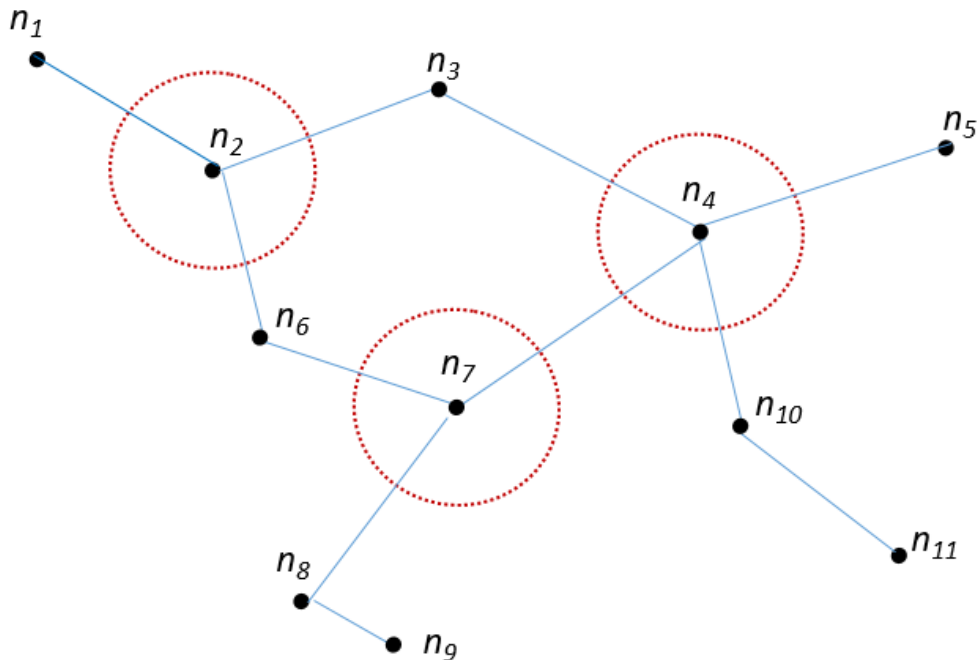


Рисунок 2.10 – Результат розташування після трьох ітерацій

Як показано на рис. 2.11, у більш загальному випадку, таке розташування дозволяє, за відповідних умов, використовувати обрані вузли в якості базових точок для датчиків з більш широким діапазоном дії, аналогічно розміщення на основі максимального покриття з використанням жадібних евристик, описаного в п. 2.2.1.

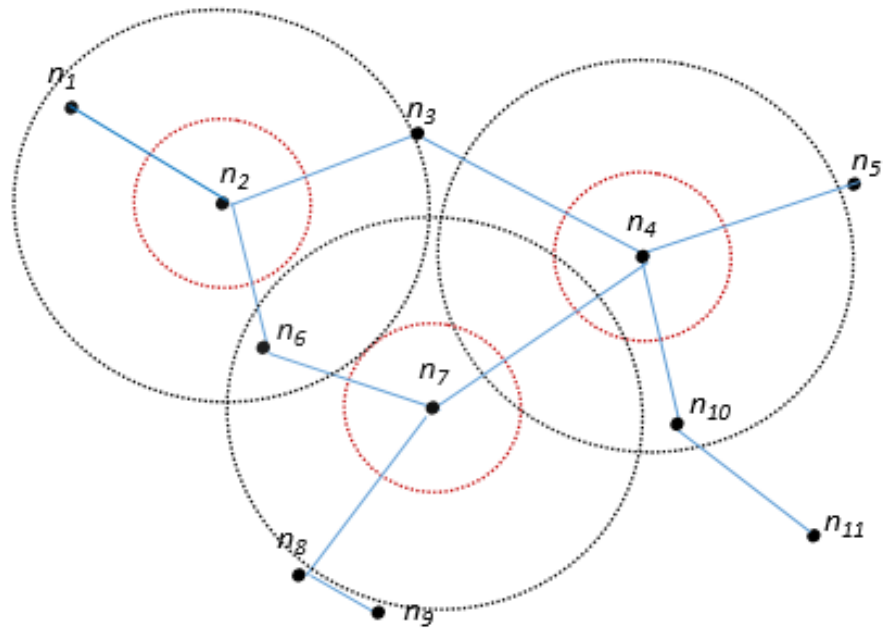


Рисунок 2.11 – Можливі варіанти розширення мережі за рахунок встановлення датчиків в більш широкому діапазоні дії

Таблиця 2.2 – Конфігурації мережі для різної кількості датчиків

Кількість датчиків	Конфігурація мережі	Загальна ентропія мережі
1	n_4	1.4369
2	n_4, n_2	2.4438
3	n_4, n_2, n_7	3.1950
5	n_4, n_2, n_7, n_{10}	3.8881
6	$n_4, n_2, n_7, n_{10}, n_6$	4.5284
7	$n_4, n_2, n_7, n_{10}, n_6, n_1$	4.8750
10	$n_4, n_2, n_7, n_{10}, n_6, n_1, n_{11}, n_3, n_8, n_5$	5.7894

Як видно з таблиці, для розглянутого прикладу, лише один вузол залишається без датчика – це вузол n_9 , що є цілком виправданим, оскільки довжина сегменту дорівнює 100 м і радіус дії датчика, встановленого у вузлі n_8 повністю його перекриває.

Висновки до розділу 2

В розділі представлено новий метод розташування датчиків, що поєднує технологію розташування на основі ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування. Запропонований метод - це евристика з жадібним пошуком, яка використовує властивості ентропії щодо максимальності, субадитивності та двозначності, щоб сформулювати задачу оптимізації розміщення датчика як задачу максимізації ентропії, при цьому ентропія визначається як відношення довжини зондування до довжини водотоку і максимізується на мережевий рівень.

Варто відзначити, що даний підхід застосовується до поздовжнього, а не просторового зондування і може бути застосований до таких пристроїв, як датчики тиску, потоку, якості потоку, що діють на ділянці водотоку. Метод є надійним, не залежить від робочих параметрів мережі та демонструє швидке зближення до оптимального або близького до оптимальні рішення. Крім того, як показали результати практичних впроваджень, запропонований метод не дає рішень з розташування датчиків якомога далі одне від одного або за допомогою датчиків, розміщених уздовж меж зони/ділянки, що дозволяє зробити висновок про його придатність до використання у вузьких ділянках та місцях розгалужень, тобто з мережах водопостачання та утилізації стічних вод.

Результати розділу опубліковано в роботах автора [4, 6, 7, 18 (Додаток А)]

Література до розділу 2

1. Шлезингер М.И., Флах Б, Водолазский Е.В. Поиск заданного количества решений системы размытых ограничений. *Кибернетика и системный анализ*, К.: Наук.думка.2018. № 1. С. 67-83.

2. Argany M., Mostafavi M. A. and Karimipour F., "Voronoi-Based Approaches for Geosensor Networks Coverage Determination and Optimisation: A Survey," *2010 International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering*, Quebec, QC, Canada, 2010, pp. 115-123, doi: 10.1109/ISVD.2010.36.
3. Cao, H., Guo, Z., Wang, S., Cheng, H., & Zhan, C. (2020). Intelligent Wide-Area Water Quality Monitoring and Analysis System Exploiting Unmanned Surface Vehicles and Ensemble Learning. *Water*, 12, 681.
4. Cassidy M. Waterwatch Tasmania Reference Manual: A guide for community water quality monitoring groups in Tasmania. Waterwatch Australia. 2003.
5. Christodoulou, S. E., Gagatsis, A., Xanthos, S., Kranioti, S., Agathokleous, A., & Fragiadakis, M. (2013). Entropy-Based Sensor Placement Optimization for Waterloss Detection in Water Distribution Networks. *Water Resources Management*, 27(13), 4443–4468. doi:10.1007/s11269-013-0419-8
6. Fortune S. A sweepline algorithm for Voronoi diagrams. , 2(2):153–174, 1987.
7. Gray R.M. Entropy and Information Theory. First Edition, Corrected March 3, 2013. <https://ee.stanford.edu/~gray/it.pdf> (12.12.2020).
8. Guestrin C., Krause A., and Singh A. Near-optimal sensor placements in gaussian processes. In *ICML*, 2005.
9. Hartley R. V. L.. Transmission of information. *Bell System Tech. J.*, 7:535–563, 1928.
10. Huang C. F., Tseng Y. C., Lo L. C. The coverage problem in three-dimensional wireless sensor networks, In *IEEE Globecom*, 2004.
11. Krause A., Guestrin C., Gupta A. and Kleinberg J., "Near-optimal sensor placements: maximizing information while minimizing communication cost," *2006 5th International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, Nashville, TN, USA, 2006, pp. 2-10, doi: 10.1145/1127777.1127782.
12. Mompoloki Pule, Abid Yahya, Joseph Chuma Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. *Journal of Applied Research and Technology*, Volume 15, Issue 6, December 2017, Pages 562-570

13. Meguerdichian S., Koushanfar F., Qu G., Potkonjak M. Exposure in wireless ad-hoc sensor network, In *Proc. IEEE MOBICOM '01*, 2001, pp. 139-150.
14. Nemhauser, G.L., et al.: An analysis of approximations for maximizing submodular set functions. *Mathematical Programming* 14, 265–294 (1978)
15. Shannon C. E.. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, 27:379–423,623–656, 1948.
16. Su Y., Guo L., Jin Z., Fu X., A Voronoi-Based Optimized Depth Adjustment Deployment Scheme for Underwater Acoustic Sensor Networks, in *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 22, pp. 13849-13860, 15 Nov.15, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.3005685.
17. Wu C. H., Lee K. C., Chung Y. C., A Delaunay triangulation based method for wireless sensor network deployment. *Computer Communications*, vol. 30, 2007, pp. 2744–2752.
18. Xu X., Lu Y., Huang S., Xiao Y., Wang W. (2013) Incremental Sensor Placement Optimization on Water Network. In: Blockeel H., Kersting K., Nijssen S., Železný F. (eds) *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. ECML PKDD 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8190. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3_30.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАБОРУ ВИМІРЮВАНИХ ПАРАМЕТРІВ В ІОТ-ПРИСТРОЯХ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

У розділі пропонується удосконалена технологія обробки даних на основі автоматичного вилучення ознак за допомогою аналізу головних компонент (РСА), адаптована для задачі визначення типів датчиків, використовуваних в ІоТ пристроях контролю якості води. Описано основні етапи аналітичного оцінювання значущості параметрів, проведене надані рекомендації щодо підготовки даних. Наведено приклади використання технології.

3.1 Постановка задачі визначення набору параметрів для ІоТ приборів контролю якості води

Як зазначалося в Розділі 1, однією з цілей компонентного моніторингу якості води в режимі реального часу є проектування приладів та станцій для постійного моніторингу якості води. Дані датчиків, що входять до складу ІоТ приладів та станцій моніторингу використовуються для виявлення ненормальної якості води, включаючи можливі забруднення, та для створення попереджень. Оскільки кількість потенційних забруднювачів є дуже великою і відрізняється для різних географічних точок, постає задача вибору параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків.

Звичайна програма оцінки якості води залежить від періодичного вимірювання кількох параметрів на різних станціях моніторингу, що призвело до складної матриці даних з великою кількістю фізико-хімічних параметрів. Тому для спрощення проблеми скорочення даних та підведення значущих висновків широко використовуються багатовимірні статистичні методи.

У загальному виді, така задача представлена в роботі наступним чином. Нехай $X_m = X_1, X_2, \dots, X_p$ – вибірка з множини даних $X_m \subset \mathbb{R}^p$. Табл. 3.1 описує вихідні дані, які складаються з n спостережень (рядків) за p змінними (стовпців).

Таблиця 3.1 – Формат даних для аналізу основних компонентів з p ознаками на n випадків

	X_1	X_2	...	X_p
1	X_{11}	X_{12}	.	X_{1p}
2	X_{21}	X_{22}	.	X_{2p}
.
.
.
n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{np}

Тоді, задача визначення набору вимірюваних параметрів для IoT приборів контролю якості води може бути сформульована як задача вкладення виду (3.1) [2]:

$$h: X \subset \mathbb{R}^p \rightarrow Y = h(X) \subset \mathbb{R}^q \quad (3.1)$$

По множині X_m необхідно побудувати відображення X на множину Y , яка належить до простору меншої розмірності $q < p$ і зберігає задані відносини між точками множин X і $h(X)$.

3.2 Вибір технології обробки даних моніторингу для визначення наборів параметрів якості води

У випадку використання IoT-пристроїв з двома і більше датчиками, основна частина цієї задачі полягає в зниженні розмірності та ідентифікації найбільш суттєвих для моніторингу параметрів якості води, що є однією з завершальних стадій процесу визначення ключових параметрів для IoT моніторингу (рис. 3.1).

Процес починається з вибору ділянки та збору даних. На основі аналізу історичних даних про стан водойми у визначеному регіоні створюється профіль. Основним технологічним прийомом для створення профілю є статистичний аналіз даних. В залежності від мети, для ідентифікації

параметрів якості води можливе використання біваріантного або багатокomпонентного аналізу.

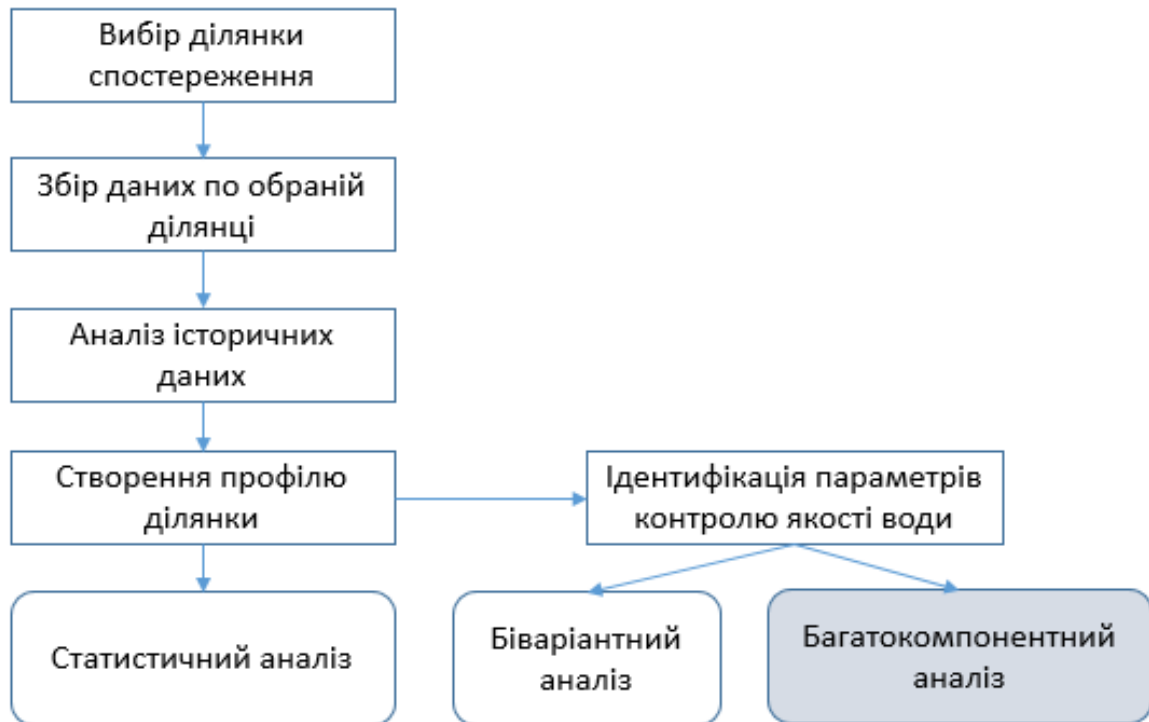


Рисунок 3.1 – Процес визначення ключових параметрів для IoT моніторингу

Перший підхід дозволяє визначити домінуючий параметр забруднення і середній внесок усіх факторів. При оцінці якості води іноді виникають ситуації коли концентрація деяких забруднюючих речовин перевищує норму та спричиняє шкоду навколишньому середовищу, але середнє значення індексу забруднення не перевищує стандартне. Враховуючи цей ефект, для визначення набору параметрів може бути використаний метод Немерова [20], який поєднує середнє значення забруднюючих речовин із значенням максимального значення [13]. Індекс забруднення Немерова розраховується за ф. (3.2):

$$I_j = \sqrt{\frac{I_{jmax}^2 + \bar{I}_j^2}{2}} = \sqrt{\frac{\left(\max\left(\frac{c_i}{s_{ij}}\right)\right)^2 + \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{c_i}{s_{ij}}\right)^2}{2}}, \quad (3.2)$$

де I_{jmax} - найбільше значення окремого коефіцієнту, який використано при оцінці індексу; \bar{I}_j середнє значення однофакторного індексу, що бере участь в оцінці; C_i – значення виявленої концентрацій i виду забруднюючої речовини (мг/л); S_{ij} – стандарт оцінки i виду забруднюючої речовини (мг/л).

Приклад рівняння для однофакторного індексу параметру рН:

$$S_{pH,j} = \begin{cases} \frac{7.0 - pH_j}{7.0 - pH_{sd}}, & pH_j < 7.0, \quad pH_{sd} = 6, \\ \frac{7.0 - pH_j}{pH_{sd} - 7.0}, & pH_j > 7.0, \quad pH_{sd} = 9. \end{cases}$$

де $S_{pH,j}$ – стандартне значення рН; pH_j – виявлене значення рН; pH_{sd} і pH_{su} є відповідно нижня і верхня межі стандарту оцінки.

За результатами проведеного аналізу, зокрема [8, 13, 18], індекс забруднення Немерова дозволяє врахувати як домінуючий параметр, так і середній внесок усіх факторів систематичного забруднення. Однак цей метод має тенденцію надмірно підкреслювати вплив максимального коефіцієнта оцінки (тобто найсерйознішого фактора забруднення). Таким чином, отриманий загальний бал буде підвищений у ситуаціях, коли значення індексу для одного коефіцієнта оцінки набагато вище, ніж для інших. Отже, існує потенційна проблема того, що результати оцінки можуть не погоджуватися із загальним станом якості води.

Другий підхід передбачає застосування багатоваріантних технологій, зокрема, факторного аналізу, аналізу основних компонентів (РСА), які використовуються для зменшення вихідного набору змінних до нових значущих змінних, що називаються основними компонентами (РС). Як статистичний метод, який зазвичай застосовується при зменшенні розмірності, алгоритм РСА часто використовує декомпозицію єдиного значення для вилучення головних компонент із змішаного сигналу за допомогою динамічного підпростору. РСА є широко використовуваним для аналізу

складних хімічних та біологічних даних, яким притаманна мультиколінеарність, тобто присутність внутрішніх, прихованих зв'язків між змінними [4]. У попередніх дослідженнях PCA застосовували до моніторингових даних якості води з метою зменшення даних на значущі компоненти. Далі компоненти були проаналізовані для вибору лише одного ключового виміру з кожного компонента. Так, в попередніх дослідженнях [3, 5, 9, 15, 21] метод головних компонент застосовувався для класифікації якості води. Разом з тим, автору не вдалося знайти готових прикладів використання PCA для задачі вибору параметрів для IoT приборів контролю якості води, що визначило необхідність удосконалення та адаптації загальної технології до визначеної предметної області. З огляду на вищевикладене, стосовно технології обробки даних моніторингу для вибору параметрів якості води зроблено наступні висновки:

(1) У випадках, коли конкретні фактори забруднення систематично відіграють домінуючу роль у забрудненні, може бути використаний індекс Немерова, який дозволяє обрати 2-5 найважливіших параметрів для моніторингу.

(2) Багатокомпонентний аналіз є найбільш обґрунтованим, коли кожен коефіцієнт оцінки має однаковий внесок у загальну якість води.

(3) Автоматичне вилучення ознак можливе за допомогою аналізу головних компонент (PCA).

(4) Для вирішення задачі вибору параметрів для IoT приборів контролю якості води має бути удосконалена технологія обробки даних для вибору параметрів для IoT приборів контролю якості води.

3.3 Удосконалена технологія обробки даних для вибору параметрів для IoT приборів контролю якості води

У загальному виді, технологія обробки даних складається з двох етапів.

На першому етапі формуються окремі моделі класів. Кожен клас із навчальної множини параметрів незалежно моделюється методом головних

компонент (РСА) із різною кількістю головних компонент (РС). Під моделлю в даному випадку розуміється спосіб відтворення форми та/або інших характеристик складного первинного масиву даних в простішій формі, що містить також і дані, які характеризують властивості модельованої системи, і динаміку їх зміни. Основне рівняння РСА, в матричних позначеннях, дається:

$$Y = W' X \quad (3.3)$$

де W - матриця коефіцієнтів, яка визначається РСА.

Рівняння (3.3) можна розглядати як набір p лінійних рівнянь, що утворюють компоненти з вихідних змінних.

На другому етапі проводиться порівняння моделей і визначення набору параметрів, які будуть контролюватися в режимі он-лайн датчиками IoT приборів. Для порівняння створених моделей розраховується відстань між класами і оцінюється вплив змінних на розподіл зразків між класами (модельна потужність і дискримінаційна потужність змінних). Значення модельної потужності змінної показує, наскільки сильний вплив чинить дана змінна на моделювання даного класу.

Удосконалена технологія обробки даних для вибору параметрів для IoT приборів контролю якості води представлена у вигляді послідовності наступних кроків.

Крок 1: Нормалізація даних.

Для кожного набору параметрів виконується нормалізація за ф. (3.4)

$$X'_P = \frac{X_P - \bar{X}_P}{\sqrt{\sigma_P}}, \quad (3.4)$$

де X'_P - нормоване значення параметра P , \bar{X}_P - середнє значення X_P , σ_P - дисперсія параметра P .

Крок 2: Перевірка потенційної можливості використання РСА до вибірки даних.

Перевірка залежності виконується за допомогою трьох тестів – Кайзера-Мейєра-Олкіна (КМО), φ -тесту надмірності Глісона-Сталіна та тесту на сферичність Бартлетта [10].

Перший тест дозволяє отримати статистику, яка вказує на частку дисперсії у змінних. Значення наближені до 1 вказують на потенційну корисність PCA. Для даних зі значеннями КМО $\leq 0,5$, аналіз не має потенційної користі.

В якості альтернативи, можливо використання φ -тесту надмірності Глісона-Сталіна, який дозволяє оцінити наскільки взаємозв'язані змінні. Нульове значення φ означає відсутність кореляції між змінними, тоді як значення одиниці вказує на ідеальну кореляцію між змінними.

$$\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 - p}{p(p-1)}}. \quad (3.5)$$

Ця статистика особливо корисна для порівняння двох або більше наборів даних, але коефіцієнт може мати значення менше 0,5, навіть якщо очевидна структура даних, тому слід бути обережним при його використанні [16].

Тест сферичності Бартлетта перевіряє гіпотезу про те, що матриця кореляції є матрицею ідентичності, що в свою чергу вказує на те, що змінні не пов'язані між собою. Значення рівня значущості $< 0,05$ свідчать про потенційну корисність PCA для обраного набору даних.

Тест діє для великих наборів даних ($N > 150$). Він використовує розподіл хі-квадрат із $p(p-1)/2$ ступенями свободи. Зауважимо, що цей тест доступний лише при аналізі кореляційної матриці. Формула для обчислення тесту:

$$\chi^2 = \frac{(11 + 2p - 6N)}{6} \ln|R|. \quad (3.6)$$

Крок 3: Вибір інформаційної матриці для аналізу головних компонентів.

Для аналізу головних компонентів можливо використовувати матрицю кореляції або матрицю коваріації. Вибір інформаційної матриці відбувається в залежності від типу даних і завдань.

(1) Випадки використання коваріаційної матриці. Неявне припущення при використанні коваріаційної матриці як вхідних даних полягає в тому, що ознаки не повинні мати дуже різних дисперсій. Результати використання коваріаційної матриці легко інтерпретувати і аналізувати. Разом з тим, розбіжності у дисперсії, що можуть виникнути через різні масштаби вимірювань, різну величину вимірювань або поєднання цих двох факторів [11], призводять до того, що перші кілька основних компонентів будуть враховувати лише параметри з найбільшими дисперсіями [7]. Отже основним недоліком PCA на основі коваріаційної матриці є чутливість PC до одиниць виміру, що використовуються для кожного елементу X . У таких випадках дані повинні бути стандартизовані, що фактично означає, що в PCA використовується матриця кореляції, але з дуже різними вимірюваними сутностями або одиницями. Тобто перетворення вихідних даних може призвести до результатів PC з іншими значеннями.

(2) Випадки використання кореляційної матриці. Розрахунок PCA на основі матриці кореляції підходить для ознак з нерівними шкалами виміру. За рекомендацією [6], коли спостережуваний набір даних має дуже різні масштаби, одночасне застосування матриці кореляції та PCA є набагато інформативнішим. Один із способів простежити нерівні масштаби - це широкі різні відмінності між ознаками. При обчисленні коефіцієнта кореляції між двома ознаками різниці, зумовлені середнім значенням та дисперсією ознак, видаляються [7]. Це є основною рекомендацією, оскільки всі оригінальні ознаки стандартизовані до одиниці дисперсії. Отже, дані, які використовуються для обчислення PCA для введення кореляції, не потребують будь-якого перетворення, оскільки вони застосовуються автоматично при обчисленні кореляції. Однак недоліком використання кореляційної матриці для обчислення основних компонентів є те, що вони дають коефіцієнти для стандартизованих змінних i , отже, їх не так легко

інтерпретувати безпосередньо. Щоб інтерпретувати основні компоненти з точки зору вихідних змінних, кожен коефіцієнт повинен бути розділений на стандартне відхилення відповідних змінних.

Крок 4: Розрахунок РС для обраних наборів даних, отримання власних значень і сумарного внеску компонент в загальну дисперсію.

Кожен головний компонент являє собою лінійну комбінацію m вихідних ознак X_1, \dots, X_m і в загальному вигляді може бути представлений ф. (3.7):

$$PC_k = \sum_{k=1}^m a_{kn} X_k. \quad (3.7)$$

Перший головний компонент складається з такої комбінації ознак і набору коефіцієнтів $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m}$, які забезпечують максимальну дисперсію $\sigma(PC_1) = \lambda_1 = \max$:

$$PC_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1m}X_m.$$

Другий, третій та інші головні компоненти будуються аналогічним чином з додаванням умов до вибору коефіцієнтів. Так, наприклад, умовою на для другого РС є вибір такого набору коефіцієнтів $a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m}$, що забезпечить відсутність кореляції між PC_1 і PC_2 . Дисперсія $\sigma(PC_2) = \lambda_2$ має бути максимальною з усіх лінійних комбінацій, що не корелюються з PC_1 , що забезпечує максимальну кількість нової інформації, отримуваної з PC_2 :

$$PC_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2m}X_m.$$

Цей крок забезпечує отримання набору дисперсій $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ та відповідних характеристичних векторів.

Крок 5: Визначення ваги (важливості) головних компонент.

За результатами розрахунків відкидаються компоненти, на які припадає незначна частка дисперсії у наборах даних і обирається така кількість

компонент, яка забезпечить сукупний % дисперсії $V = \sigma(PC_1) + \sigma(PC_2) + \dots + \sigma(PC_m) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m$ на рівні від 70% до 100%.

Вага головних компонент визначається часткою дисперсії [1]:

$$\frac{\lambda_k}{V} \cdot 100\%. \quad (3.8)$$

Фактори або початкові коефіцієнти навантаження набору головних компонентів являють собою нормовані головні компоненти:

$$L_k = \frac{PC_k}{\sqrt{\lambda_k}}. \quad (3.9)$$

Кількість головних компонент, як правило, визначається відповідно до критерію «власне значення, яке перевищує одиницю», або «сукупна дисперсія у відсотках більше 80%». Власні значення $\geq 1,0$ вважаються значущими. Абсолютні значення навантаження, більші за 0,75, відповідають коефіцієнтам навантаження, класифікованим як «сильні», значення навантаження від 0,75 до 0,50 відповідають важливості рівня «помірно», а значення навантаження від 0,50 до 0,30 - «слабкими» [12]. Такий розподіл означає, що на відміну від класичної евристики (правила Кайзера), немає необхідності обмежувати інтерпретацію лише власними значеннями, більшими за 1.

Крок 6: Ідентифікація показників, що належать до визначених головних компонентів. Факторне навантаження кожного показника на кожен визначений головний компонент, а саме коефіцієнт кореляції θ_{jk} між j -м показником та k -ю основною складовою обчислюється за ф. (3.10):

$$\theta_{jk} = a_{jk} \sqrt{\lambda_k}, \quad (3.10)$$

де λ_k – власне значення (дисперсія), що відповідає k -му головному компоненту, a_{jk} – j -те значення власного вектору a_k .

Враховується лише індикатор з $|\theta_{jk}| \geq 0,5$, який вказує на приналежність j -го показника до k -ї головної компоненти.

Крок 7: Формування часткових функції оцінки головних компонентів PC_k та комплексної функції оцінки PC .

Кожний головний компонент є зваженою лінійною комбінацією всіх показників, і оцінки основної складової (PC_1, PC_2, \dots, PC_p). Отже, часткові функції оцінки головних компонентів PC_k можна отримати за ф. (3.7).

Комплексна функція, що являє собою оцінку компонентів PC отримується з часткових функцій відповідно до рівняння (3.11) [17]:

$$PC = \sum_{k=1}^p w_k PC_k, \quad (3.11)$$

де, w_k – це вагові коефіцієнти, які представляють собою відсотки варіацій, пояснені кожним головним компонентом.

Вагові коефіцієнти обчислюються за ф. (3.12):

$$w_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k}. \quad (3.12)$$

Крок 8: Розрахунок оціночних коефіцієнтів моделі

Оціночні коефіцієнти Sc_k використовуються для формування оцінок компонентів. Оцінки компонентів, в свою чергу, являть собою значення компонентів для певного рядка даних. Оціночні коефіцієнти подібні до власних векторів, але відрізняються від останніх способом масштабування, Sc_k розраховуються відповідно до ф. (3.13)

$$Sc_k = \frac{\theta_{jk}}{\lambda_k}. \quad (3.13)$$

Оцінки окремих компонентів SC_k використовуються для розрахунку комплексної оцінки моделі (3.11) яка містить вичерпні бали і служить основою для порівняння. Розрахунок комплексної оцінки PC_{Sc} виконується за ф. (3.14)

$$PC_{Sc} = \sum_{k=1}^p w_k PC_{Sc_k}, \quad (3.14)$$

Крок 9: Ранжування та перевірка якості рішень.

Результати попереднього етапу дозволяють упорядкувати показники за допомогою ранжування та зробити висновки щодо потенційних наборів даних. Якість рішень можна перевірити використовуючи власні значення. Для цієї мети використано лямбда-критерій Уілкса Λ (багатовимірне узагальнення F-статистики), що порівнює детермінанти (узагальнені дисперсії), розраховані за внутрішніми та загальними дисперсіями в межах груп та у цілому наборі даних [14]:

$$\Lambda = \prod_{j=1}^n \frac{1}{1 + \lambda_{(oc)j}}, \quad (3.15)$$

де $\lambda_{(oc)j}$ – дисперсія, отримана для моделі, отриманій за результатами аналізу остаточної спільності показників.

Лямбда-критерій Уілкса змінюється від 0 до 1, де $\Lambda = 0$ означає, що середні вектори груп відрізняються, тоді як $\Lambda = 1$ показує, що параметри груп однакові. Таким чином, мінімізація критерію Уілкса дозволяє знайти центри кластерів, а також розміри базових груп, які визначають найкраще розмежування між групами. Лямбда Уілкса має так званий U-розподіл, який представлений у таблиці, наприклад, у [19]. Він також може бути чисельно апроксимований і представлений як звичайний F-тест. Для порівняння створених моделей можливо також застосування інших підходів, наприклад розрахувати відстань між класами і оцінити вплив змінних на розподіл зразків між класами (модельна потужність і дискримінаційна потужність змінних).

Значення модельної потужності змінної показує, наскільки сильний вплив чинить дана змінна на моделювання даного класу.

3.4 Приклад реалізації технології визначення набору параметрів для IoT приборів контролю якості води

Для демонстрації можливостей використання запропонованої технології та обрання набору параметрів для приборів / станцій моніторингу в підрозділі наведено аналіз різних комбінацій даних хімічного складу.

3.4.1 Вихідні дані

У дослідженні використано 22 набори параметрів блоку хімічного складу (рис. 3.2).

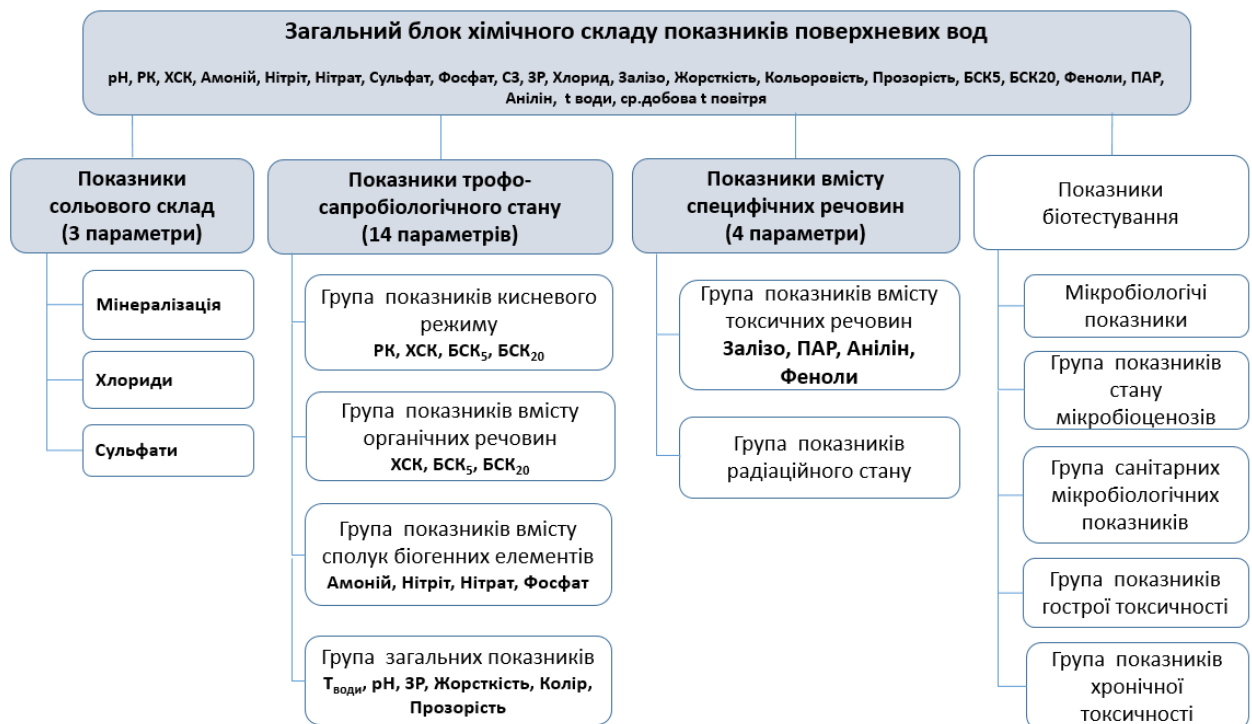


Рисунок 3.2 – Набори параметрів, обраних для аналізу з блоку хімічного складу поверхневих вод (позначено жирним шрифтом)

Дані зібрано у період з 2007 по 2017 з ділянки вод річки Сіверський

Донець (код типу масиву UA_R_16_XL_1_SI, номер масиву UA_M6.5.1_0007), розташованої на відстані 444 км до гирла.

3.4.2 Аналіз набору показників сольового складу

В якості показників сольового складу обрано мінералізація (електропровідність), хлорид-іони, сульфат-іони (далі скорочено – хлориди, сульфати). Результати розрахунків власних значень дисперсії, частки дисперсії та накопиченого % дисперсії наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Власні значення і сумарний внесок компонент в загальну дисперсію.

	PC1	PC2	PC3
Дисперсія	1,55	0,79	0,65
% дисп.	0,52	0,26	0,22
Накоп. % дисп.	51,8%	78,2%	100,0%

На перший фактор припадає 51,8% від дисперсії 3-х змінних (його кумулятивна частка) з найбільшою дисперсією за співпадінням – 1,55. Перші два компоненти складають 78,2% змін у вихідному наборі даних, який фіксує або враховує кожен головний компонент. Другий і третій фактори мають майже однаково розподілену дисперсію. Власні вектори показників сольового складу формуються згідно отриманих розподілів для кожного компоненту (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Власні вектори показників сольового складу

	Параметр	PC1	PC2	PC3
x1	Мінералізація	0,611	0,274	0,743
x2	Хлориди	0,525	-0,842	-0,121
x3	Сульфати	0,593	0,464	-0,658

Відповідно лінійне перетворення для PC1-PC3 виражається як:

$$PC1 = 0,611x_1 + 0,525x_2 + 0,593x_3$$

$$PC2 = 0,274x_1 - 0,842x_2 + 0,0464x_3$$

$$PC3 = 0,743x_1 - 0,121x_2 - 0,658x_3$$

Таким чином для обчислення коефіцієнтів сухого залишку, хлорид-іонів, сульфат-іонів (обертаючи вихідні змінні в PC) вирази матимуть вигляд:

$$x_1 = \text{Мінералізація} = 0,611PC1 + 0,274PC2 + 0,743PC3$$

$$x_2 = \text{Хлориди} = 0,525PC1 - 0,842PC2 - 0,121PC3$$

$$x_3 = \text{Сульфати} = 0,593PC1 + 0,464PC2 - 0,658PC3$$

Важливості головних компонент, що визначені часткою дисперсії представлені у табл. 3.4 та на рис. 3.3.

Як показано на рис. 3.3, співвідношення між індексами PC1 та усіма показниками сольового складу складають від 0,53 до 0,61, це вказує на те, що PC1 в основному враховує усі індекси; в той час, як кореляція між PC2 та С3 та сульфатами становить 0,27 та 0,46, це вказує на те, що PC2 в основному враховує сульфати.

Співвідношення між PC2 та хлоридами становлять -0,84, це виявляє негативну кореляцію, вказуючи на те, що чим менше хлоридів, тим кращій клас та категорія якості вод за ступенем їх чистоти /забрудненості гідрохімічними показниками.

Таблиця 3.4 – Вага головного компонента в кожній вихідній змінній

Параметр	Мінералізація	Хлориди	Сульфати
PC1	0,61	0,53	0,59
PC2	0,27	-0,84	0,46
PC3	0,74	-0,12	-0,66

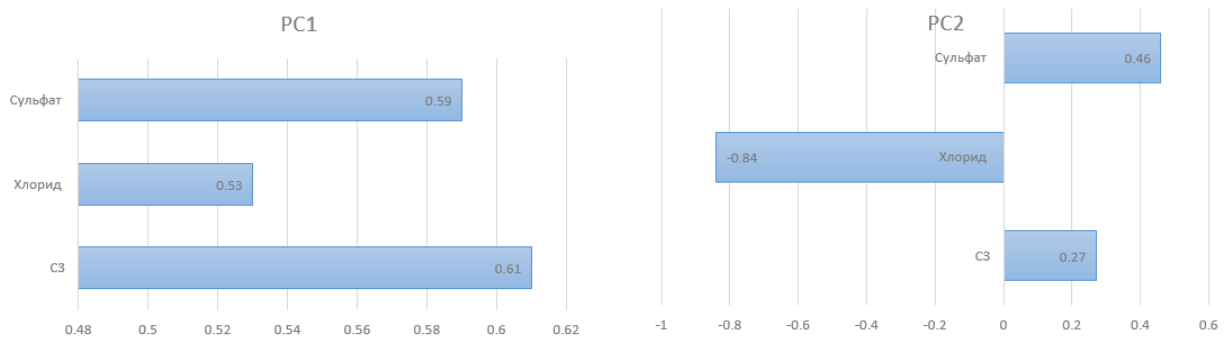


Рисунок 3.3 – Співвідношення між індексами PC1, PC2 та показниками сольового складу

Спільність показує, наскільки добре змінну передбачають збережені компоненти. Остаточна спільність (ОС) показників сольового складу представлена у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Остаточна спільність (ОС) показників сольового складу

Параметр	Мінералізація	Хлориди	Сульфати
$OC_{PC1,PC2,PC3}$	1.000	0.999	0.999
$OC_{PC1,PC2}$	0.448	0.985	0.567
OC_{PC1}	0.373	0.276	0.352

З аналізу табл. 3.5, видно, що перші два компоненти дозволяють виявити хлориди майже без втрати якості. Зміна вмісту інших компонент представлена майже пропорційно, 45% і 57% дисперсії, яка враховується. Факторне навантаження обчислюється для кожного показника на кожен визначений головний компонент по ф. (3.10). Результати розрахунку надано в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку факторного навантаження

Параметр	PC1	PC2	PC3
Мінералізація	0.760689	0.243537	0.599026
Хлориди	0.65362	-0.74839	-0.09755
Сульфати	0.738279	0.412412	0.530497

Згідно з кроком 7, були розраховані ваги w_k трьох головних компонентів, які відповідно склали 0,52, 0,26 та 0,22. Оскільки, попередньо було прийнято, що враховуються лише індикатори з $|\theta_{jk}| \geq 0,5$, склад параметрів, що враховується кожним головним компонентом було скореговано.

Детальна інформація про головні компоненти та відповідні вагові коефіцієнти узагальнена в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Склад головних компонент

PC	Параметри, що враховуються кожним компонентом			W
PC1	Мінералізація	Хлориди	Сульфати	0.52
PC2		Хлориди		0.26
PC3	Мінералізація		Сульфати	0.22

Комплексна функція оцінки PC сформована за ф. (3.11) має наступний вид:

$$PC_{\text{солевого складу}} = 0,52PC1 + 0,26 PC2 + 0,22 PC3$$

Оціночні коефіцієнти S_{ck} розраховані за ф. 3.13 використовуються для формування оцінок окремих компонентів і остаточного розрахунку комплексної оцінки вкладу вимірюваних параметрів до загальної моделі. Результати оцінки головних компонент та їх ранжування надано у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати оцінки головних компонент

Параметр	Оцінки головних компонент			Комплексна оцінка	Ранг
	$PC1_{Sc}$	$PC2_{Sc}$	$PC3_{Sc}$	PC_{Sc}	
Сульфати	0.476309	0.522041	0.81615	0.5622702	1
СЗ	0.490767	0.308274	0.92158	0.5362044	2
Хлориди	0.42169	-0.94732	-0.1501	-0.064321	3

Результат оцінки головних компонент і ранжування вказує, що хлориди має негативну кореляцію і разом з тим, не має суттєвого впливу на модель, що частково підтверджується отриманою діаграмою PCA (рис. 3.4). Потенційно, сульфати та мінералізація можуть бути обрані для цієї ітерації.

Вибірка результатів для набору параметрів соляного складу за критерієм Уїлкіса представлена у табл.3.9.

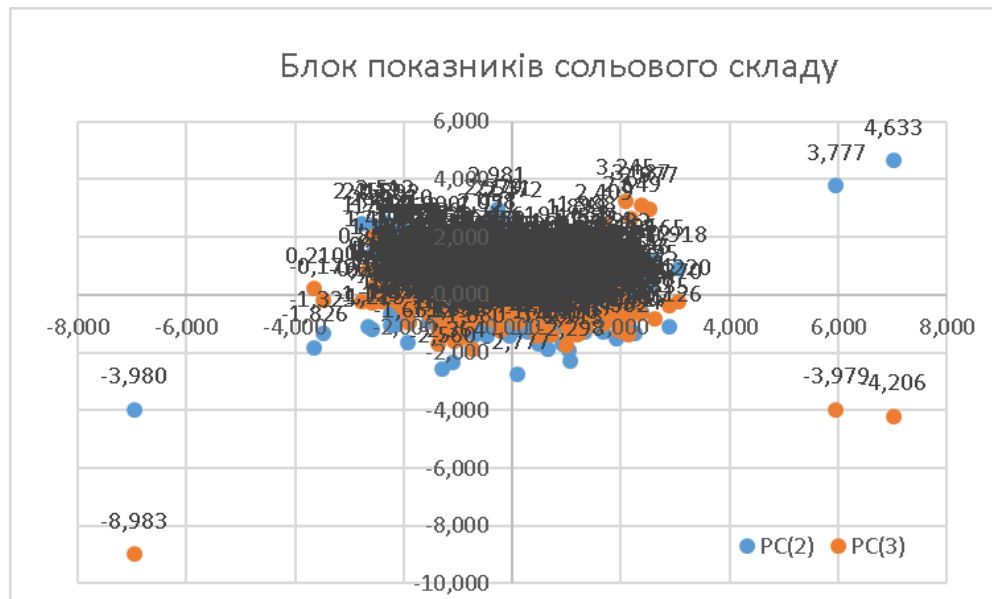


Рисунок 3.4 – Діаграма PCA показників соляного складу на основі перших двох осей.

Таблиця 3.9 – Результати вибору моделей

Модель	Параметри, що враховуються моделлю			Λ
1	Мінералізація			0.691
2			Сульфати	0.638
3		Хлориди		0.504
5	Мінералізація		Сульфати	0.441
6	Мінералізація		Хлориди	0.348
7		Хлориди	Сульфати	0.322
8	Мінералізація		Хлориди Сульфати	0.222

Як видно з табл. 3.9, дискримінуюча здатність змінних виявилася слабкою, оскільки значення лямбда Уїлкса близькі до 1, що цілком зрозуміле, оскільки кількість параметрів обмежена. Вочевидь, щоб домогтися кращого результату необхідно використовувати більше змінних в аналізі.

Більш того, оскільки комплексна оцінка компонент представлена майже пропорційно для параметру мінералізація і сульфат-іони, це вимагає подальшого дослідження у загальному блоці параметрів хімічного складу.

3.4.3 Аналіз набору показників вмісту органічних речовин

В якості показників вмісту органічних речовин обрано ХСК, БСК₅, БСК₂₀. Результати розрахунків власних значень дисперсії, частки дисперсії та накопиченого % дисперсії наведено у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Власні значення і сумарний внесок компонент в загальну дисперсію.

	PC1	PC2	PC3
Дисперсія	1,58	0,86	0,56
% дисп.	0,53	0,29	0,19
Накоп. % дисп.	52,6%	81,3%	100,0%

На перший фактор (ХСК) припадає 52,6% від дисперсії 3-х змінних (його кумулятивна частка) з найбільшою дисперсією за співпадінням - 1,58.

Перші два компоненти складають 81,3% змін у вихідному наборі даних, який фіксують або враховують кожен головний компонент.

Результат розрахунку власних векторів показників вмісту органічних речовин представлено у табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Власні вектори показників вмісту органічних речовин

Параметр	PC1	PC2	PC3
ХСК	-0,656	-0,019	0,754
БСК ₅	0,543	0,683	0,489
БСК ₂₀	-0,524	0,730	-0,438

Відповідно лінійне перетворення для PC(1-3) виражається як:

$$PC1 = -0,656x_1 + 0,543x_2 - 0,524x_3$$

$$PC2 = -0,019x_1 + 0,683x_2 + 0,73x_3$$

$$PC3 = 0,754x_1 + 0,489x_2 - 0,438x_3$$

Таким чином для обчислення коефіцієнтів ХСК, БСК₅, БСК₂₀ (вихідних змінних назад в PC) вирази матимуть вигляд:

$$x_1(\text{ХСК}) = -0,656PC_1 - 0,019PC_2 + 0,754PC_3$$

$$x_2(\text{БСК}_5) = 0,543PC_1 + 0,683PC_2 + 0,489PC_3$$

$$x_3(\text{БСК}_{20}) = -0,524PC_1 + 0,73PC_2 - 0,438PC_3$$

Для прийняття рішення щодо зменшення розмірності, використовуються оцінки остаточної спільності та підмножина головних компонент з мінімальною втратою інформації (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Остаточна спільність показників вмісту органічних речовин

Параметр	ХСК	БСК ₅	БСК ₂₀
ОС _{PC1, PC2, PC3}	0.999	1.000	0.999
ОС _{PC1, PC2}	0.431	0.761	0.807
ОС _{PC1}	0.430	0.295	0.274

З табл. 3.12 видно, що для PC1, PC2 зміну вмісту компонента БСК₂₀ представлено найнижчим значенням у 43,1 %, але достатньо для твердження про відсутність його негативного впливу на зменшення розмірності.

Важливості головних компонент, що визначені часткою дисперсії представлені у табл. 3.13 та на рис. 3.5.

Таблиця 3.13 – Вага головного компонента в кожній вихідній змінній

Параметри	ХСК	БСК ₅	БСК ₂₀
PC1	-0,66	0,54	-0,52
PC2	-0,02	0,68	0,73
PC3	0,75	0,49	-0,44

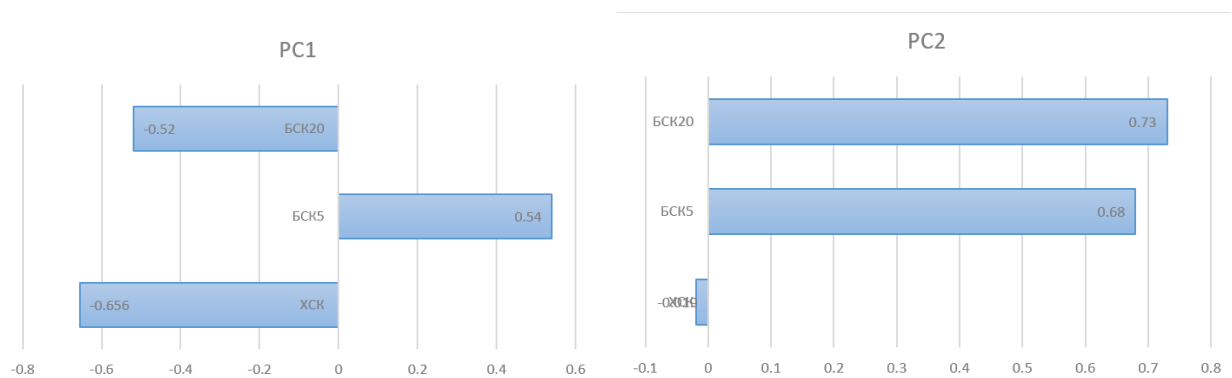


Рисунок 3.5 – Співвідношення між індексами PC1, PC2 та показниками вмісту органічних речовин

Результати розрахунку факторного навантаження надано в табл. 3.13.

Таблиця 3.14 – Результати розрахунку факторного навантаження

Параметр	PC1	PC2	PC3
ХСК	-0.82458	-0.02388	0.947763
БСК ₅	0.68254	0.858518	0.614663
БСК ₂₀	-0.65866	0.917596	-0.55056

Згідно з кроком 7, були розраховані ваги w_k трьох головних компонентів, які відповідно склали 0,53, 0,29 та 0,19. Оскільки, приймалося, що

враховуються лише індикатори з $|\theta_{jk}| \geq 0,5$, склад параметрів, що враховується головним компонентом було скореговано. Детальна інформація про головні компоненти узагальнена в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Склад головних компонент та їх вагові коефіцієнти

PC	Параметри, що враховуються кожним компонентом			W
PC1	ХСК	БСК ₅	БСК ₂₀	0.53
PC2		БСК ₅	БСК ₂₀	0.29
PC3	ХСК	БСК ₅		0.19

Комплексна функція оцінки PC сформована за ф. (3.11)

$$PC_{\text{органічних речовин}} = 0,53PC1 + 0,29 PC2 + 0,19 PC3$$

Оціночні коефіцієнти Sc_k розраховані за ф. 3.13 використовуються для формування оцінок окремих компонентів і остаточного розрахунку комплексної оцінки вкладу вимірюваних параметрів до загальної моделі.

Результати оцінки головних компонент та їх ранжування надано у табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Результати оцінки головних компонент

Параметр	Оцінки головних компонент			Комплексна оцінка	Ранг
	$PC1_{Sc}$	$PC2_{Sc}$	$PC3_{Sc}$		
БСК ₅	0.431988	0.998276	1.09761	0.7185739	1
ХСК	-0.52189	-0.02777	1.69243	0.0331005	2
БСК ₂₀	-0.41687	1.066972	-0.9831	-0.097206	3

Відповідна діаграма PCA показників вмісту органічних речовин надана на рис. 3.6.

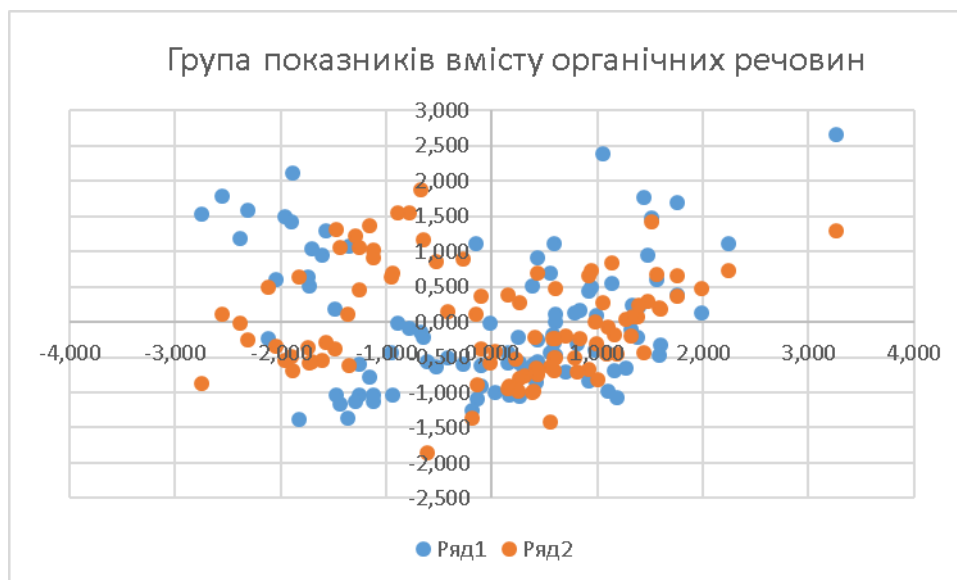


Рисунок 3.6 - Діаграма РСА показників вмісту органічних речовин

Показники БСК₅ та БСК₂₀ в цій групі аналізу підтверджують однорідне походження показника з невеликим відсотком різниці їх ваги, так як це і є у аналітичному визначенні цих компонент.

Результат комплексної оцінки головних компонент і ранжування вказує, що ХСК і БСК₂₀ не мають суттєвого впливу на модель. Параметр БСК₅ може бути обраний для цього набору.

3.4.4 Аналіз набору показників вмісту біогенних елементів

В якості показників вмісту біогенних елементів обрано наступні чотири параметри: амоній-іон, нітрит-іон, нітрат-іон, фосфат-іон (далі спрощено, відповідно – амоній, нітрит, нітрат, фосфат). Результати розрахунків власних значень дисперсії, частки дисперсії та накопиченого % дисперсії наведено у табл. 3.17.

На перший фактор (амоній) припадає 37% від дисперсії 4-х змінних (його кумулятивна частка) з найбільшою дисперсією за співпадінням - 1,48. А перші три компоненти складають 84,6% змін у вихідному наборі даних, який фіксують або враховують кожен головний компонент.

Таблиця 3.17 – Власні значення і сумарний внесок компонент в загальну дисперсію.

	PC1	PC2	PC3	PC4
Дисперсія	1,48	1,03	0,88	0,62
% дисп.	0,37	0,26	0,22	0,15
Накоп. % дисп.	37,0%	62,6%	84,6%	100,0%

Результат розрахунку власних векторів представлено у табл. 3.18.

Таблиця 3.18 – Власні вектори показників вмісту біогенних елементів

Параметри	PC1	PC2	PC3	PC4
Амоній	0,421	-0,379	0,810	-0,154
Нітрит	0,653	0,168	-0,122	0,728
Нітрат	0,616	0,266	-0,323	-0,668
Фосфат	-0,131	0,870	0,475	-0,004

Відповідно, лінійне перетворення для PC(1-4) виражається як:

$$PC1 = 0,421x_1 + 0,653x_2 + 0,616x_3 - 0,131x_4$$

$$PC2 = -0,379x_1 + 0,168x_2 + 0,266x_3 + 0,870x_4$$

$$PC3 = 0,810x_1 - 0,122x_2 - 0,323x_3 + 0,475x_4$$

$$PC4 = -0,154x_1 + 0,728x_2 - 0,668x_3 - 0,004x_4$$

Таким чином для обчислення коефіцієнтів амоній-іонів, нітрит-іонів, нітрат-іонів, фосфатів вирази матимуть вигляд:

$$x_1 = \text{Амоній} = 0,421PC_1 - 0,379PC_2 + 0,810PC_3 - 0,154PC_4$$

$$x_2 = \text{Нітрит} = 0,543PC_1 + 0,683PC_2 + 0,489PC_3 + 0,728PC_4$$

$$x_3 = \text{Нітрат} = -0,524PC_1 + 0,73PC_2 - 0,438PC_3 - 0,668PC_4$$

$$x_4 = \text{Фосфат} = -0,524PC_1 + 0,73PC_2 - 0,438PC_3 - 0,668PC_4$$

Для прийняття рішення щодо зменшення розмірності, використовуються оцінки остаточної спільності (табл. 3.19).

Таблиця 3.19 – Остаточна спільність показників вмісту біогенних елементів

Параметр	Амоній	Нітрит	Нітрат	Фосфат
ОС _{PC1,PC2, PC3,PC4}	1.000	0.999	1.000	0.999
ОС _{PC1,PC2, PC3,}	0.978	0.470	0.555	0.999
ОС _{PC1,PC2}	0.321	0.455	0.450	0.774
ОС _{PC1}	0.177	0.426	0.379	0.017

По табл. 3.19 видно, що перші три компоненти дозволяють врахувати повний компонентний склад по групі параметрів амоній, фосфат і частково по групі нітрат, нітрит.

Важливості головних компонент, що визначені часткою дисперсії представлені у табл. 3.20.

Таблиця 3.20 – Вага головного компонента в кожній вихідній змінній

Параметри	Амоній	Нітрит	Нітрат	Фосфат
PC1	0,42	0,65	0,62	-0,13
PC2	-0,38	0,17	0,27	0,87
PC3	0,81	-0,12	-0,32	0,48
PC4	-0,15	0,73	-0,67	-0,004

Співвідношення між індексами PC1, PC2 та показниками вмісту біогенних елементів візуалізовано на рис. 3.7.

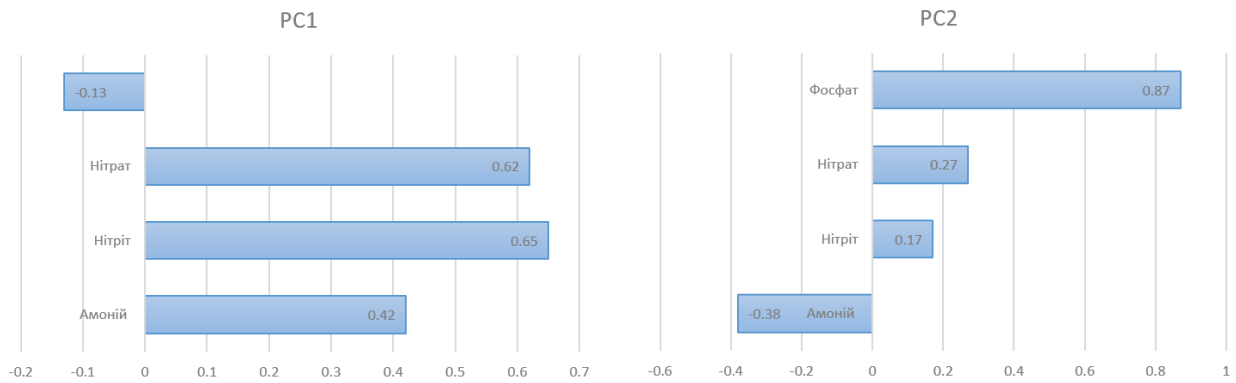


Рисунок 3.7 – Співвідношення між індексами PC1, PC2 та показниками вмісту біогенних елементів

Результати розрахунку факторного навантаження надано в табл. 3.21.

Таблиця 3.21 – Результати розрахунку факторного навантаження

Параметри	PC1	PC2	PC3	PC4
Амоній	0.512169	-0.46107	0.985408	-0.18735
Нітрит	0.794409	0.204381	-0.14842	0.88565
Нітрат	0.749396	0.323603	-0.39295	-0.81266
Фосфат	-0.15937	1.058401	0.577862	-0.00487

Ваги головних компонентів PC1-PC4 відповідно склали 0,37, 0,26, 0,22 та 0,15. Результат зменшення складу параметрів, що враховується головним компонентом представлено в табл. 3.22.

Таблиця 3.22 – Склад головних компонент та їх вагові коефіцієнти

PC	Параметри, що враховуються компонентом			W
PC1	амоній	нітрит	нітрат	0.369
PC2			фосфат	0.257
PC3	амоній		фосфат	0.219
PC4		нітрит	нітрат	0.155

Комплексна функція оцінки PC :

$$PC_{\text{біогенних елементів}} = 0,37PC_1 + 0,26 PC_2 + 0,22 PC_3 + 0,15PC_4$$

Оціночні коефіцієнти Sc_k розраховані за ф. 3.13 використовуються для формування оцінок окремих компонентів і остаточного розрахунку комплексної оцінки вкладу вимірюваних параметрів до загальної моделі.

Результати оцінки головних компонент та їх ранжування надано у табл. 3.23.

Таблиця 3.23 – Результати оцінки головних компонент

Параметр	Оцінки головних компонент				Комплексна оцінка PC_{Sc}	Ранг
	PC_{1Sc}	PC_{2Sc}	PC_{3Sc}	PC_{4Sc}		
Нітрит	0.5368	0.1380	-0.1003	0.5984	0.304093	1
Фосфат	-0.1077	0.7151	0.3904	-0.0033	0.229121	2
Амоній	0.3460	-0.3115	0.6658	-0.1266	0.174244	3
Нітрат	0.5064	0.2186	-0.2655	-0.5491	0.099882	4

Результат комплексної оцінки головних компонент і ранжування вказує, що амоній і нітрат не мають суттєвого впливу на модель. Можливою причиною такого стану є факт, що у воді додатково відбуваються процеси часткового насичення/окислення безкисневої форми азоту розчинним киснем, та іони амонію поступово переходять у нітрит та нітрат-іонну форми.

Таким чином, параметри нітрит і фосфат можуть бути обрані для цього набору.

Відповідна діаграма PCA показників вмісту органічних речовин надана на рис. 3.8.

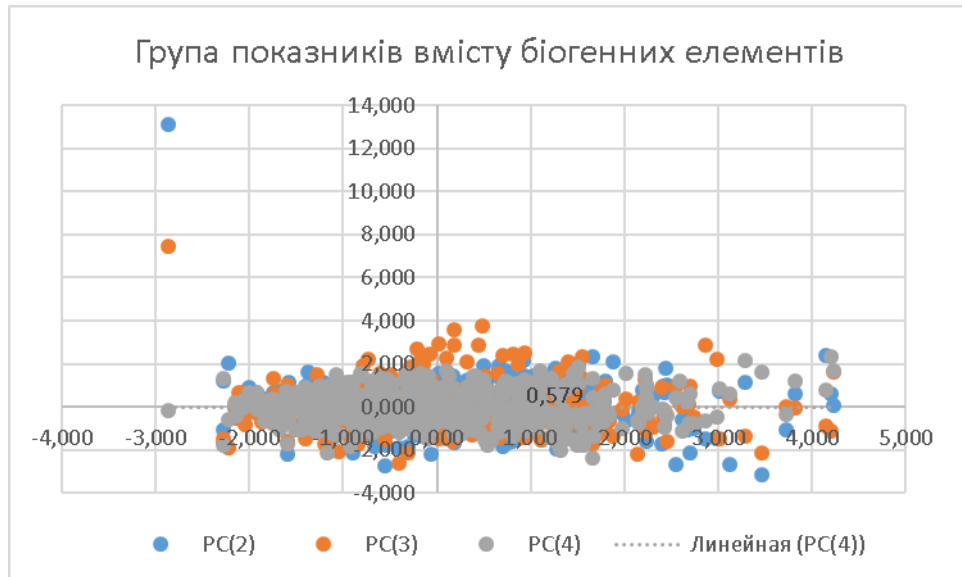


Рисунок 3.8 - Діаграма PCA показників вмісту біогенних елементів

3.4.5 Аналіз набору показників кисневого режиму

В якості показників кисневого режиму обрано розчинний кисень, ХСК, БСК₅, БСК₂₀. Результати розрахунків власних значень дисперсії, частки дисперсії та накопиченого % дисперсії наведено у табл. 3.24.

Таблиця 3.24 – Власні значення і сумарний внесок кожної з компонент в загальну дисперсію.

	PC1	PC2	PC3	PC4
Дисперсія	1,59	1,12	0,82	0,47
% дисп.	0,40	0,28	0,20	0,12
Накоп. % дисп.	39,8%	67,9%	88,4%	100,0%

На перший фактор (розчинний кисень) припадає 39,8% від дисперсії 4-х змінних (його кумулятивна частка) з найбільшою дисперсією за співпадінням - 1,59. Перші три компоненти складають 88,4% змін у вихідному наборі даних, який фіксують або враховують кожен параметр кисневого режиму. Лише перші два власні значення більші за одиницю.

Результат розрахунку власних векторів представлено у табл. 3.25.

Таблиця 3.25 – Власні вектори показників кисневого режиму

Параметри	PC1	PC2	PC3	PC4
РК	-0,164	0,845	-0,312	0,402
ХСК	-0,672	0,132	-0,193	-0,702
БСК ₅	0,499	0,514	0,474	-0,511
БСК ₂₀	-0,522	0,057	0,801	0,289

Відповідно лінійне перетворення для PC1-PC4 виражається як:

$$PC1 = -0,164x_1 - 0,672x_2 + 0,499x_3 - 0,522x_4$$

$$PC2 = 0,845x_1 + 0,132x_2 + 0,514x_3 + 0,057x_4$$

$$PC3 = -0,312x_1 - 0,193x_2 + 0,474x_3 + 0,801x_4$$

$$PC4 = 0,402x_1 - 0,702x_2 - 0,511x_3 + 0,289x_4$$

Для зворотнього обчислення коефіцієнтів розчинного кисню, ХСК, БСК₅, БСК₂₀ з PC1-PC4 вирази матимуть вигляд:

$$x_1 = РК = -0,164PC_1 + 0,845PC_2 - 0,312PC_3 + 0,402PC_4$$

$$x_2 = ХСК = -0,672PC_1 + 0,132PC_2 - 0,193PC_3 - 0,702PC_4$$

$$x_3 = БСК_5 = -0,499PC_1 + 0,514PC_2 + 0,474PC_3 - 0,511PC_4$$

$$x_4 = БСК_{20} = -0,522PC_1 + 0,057PC_2 + 0,801PC_3 + 0,289PC_4$$

Для прийняття рішення щодо зменшення розмірності, використовуються оцінки остаточної спільності (табл. 3.26).

Таблиця 3.26 – Остаточна спільність показників кисневого режиму

Параметр	РК	ХСК	БСК ₅	БСК ₂₀
ОС _{PC1,PC2, PC3,PC4}	1.000	0.999	0.999	1.000
ОС _{PC1,PC2, PC3,}	0.838	0.506	0.738	0.917
ОС _{PC1,PC2}	0.741	0.469	0.513	0.276
ОС _{PC1}	0.027	0.452	0.249	0.272

З табл. 3.26 можна зробити висновок, що перші два компоненти дозволяють врахувати повний компонентний склад по групі РК і частково по ХСК, БСК₅.

Важливості головних компонент, що визначені часткою дисперсії представлені у табл. 3.27.

Таблиця 3.27 – Вага головного компонента в кожній вихідній змінній

Параметри	РК	ХСК	БСК ₅	БСК ₂₀
PC1	-0,16	-0,67	0,50	-0,52
PC2	-0,85	0,13	0,51	0,06
PC3	-0,31	-0,19	-0,47	0,80
PC4	0,40	-0,70	-0,51	-0,29

Співвідношення між індексами PC1, PC2 та показниками кисневого режиму візуалізовано на рис. 3.9.

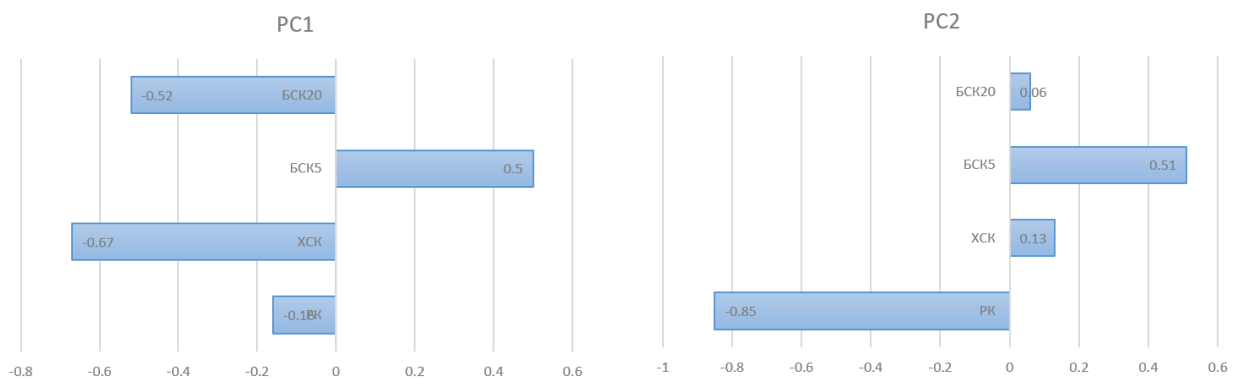


Рисунок 3.9 – Співвідношення між індексами PC1, PC2 та показниками кисневого режиму

З рис. 3.9, видно що найбільшу часткою, яку враховує другий головний компонент є розчинний кисень, параметр, який майже не враховується головним компонентом PC1.

Результати розрахунку факторного навантаження надано в табл. 3.28.

Таблиця 3.28 – Результати розрахунку факторного навантаження

Параметри	PC1	PC2	PC3	PC4
PK	-0.2068	-1.0655	-0.39342	0.50690
ХСК	-0.8474	0.16645	-0.24336	-0.88519
БСК ₅	0.62922	0.64813	-0.59769	-0.64435
БСК ₂₀	-0.65822	0.07187	1.01002	-0.36442

Ваги головних компонентів PC1-PC4 відповідно склали 0,39, 0,28, 0,21 та 0,12. Результат зменшення складу параметрів, що враховується головним компонентом представлено в табл. 3.29.

Таблиця 3.29 – Склад головних компонент та їх вагові коефіцієнти

PC	Параметри, що враховуються компонентом			W	
PC1		ХСК	БСК ₅	БСК ₂₀	0.398
PC2	PK		БСК ₅		0.280
PC3			БСК ₅	БСК ₂₀	0.205
PC4	PK	ХСК	БСК ₅		0.118

Структура головних компонент (табл.3.29) показує що параметр БСК₅ враховується усіма головними компонентами PC1-PC4.

Комплексна функція оцінки PC:

$$PC_{\text{кисневого режиму}} = 0,39 PC1 + 0,28 PC2 + 0,21 PC3 + 0,12 PC4$$

Оціночні коефіцієнти S_{c_k} розраховані за ф. 3.13 використовуються для формування оцінок окремих компонентів і остаточного розрахунку комплексної оцінки вкладу вимірюваних параметрів до загальної моделі.

Результати оцінки головних компонент, комплексна оцінка та їх ранжування надано у табл. 3.30.

Таблиця 3.30 – Результати оцінки головних компонент

Параметр	Оцінки головних компонент				Комплексна оцінка	Ранг
	$PC 1_{Sc}$	$PC 2_{Sc}$	$PC 3_{Sc}$	$PC 4_{Sc}$		
БСК ₅	0.3957	0.4076	-0.3759	-0.4053	0.1468	1
БСК ₂₀	-0.414	0.0452	0.6352	-0.2292	-0.0486	2
РК	-0.1301	-0.6701	-0.2474	0.3188	-0.2526	3
ХСК	-0.5329	0.1047	-0.1531	-0.5567	-0.2793	4

Результат комплексної оцінки головних компонент і ранжування вказує, параметр БСК₅ має найвищий ранг. У воді відбуваються процеси окислення розчинних органічних сполук і параметр БСК відображає ці зміни. Для швидкого оцінення кількості розчинного кисню, що споживається мікроорганізмами ідеально підходить БСК₅ зі скороченим терміном поглинання.

Показник азоту амонійного показує наявність і динамічно реагує на зміни розчинних азотовмісних речовин.

3.4.6 Аналіз блоку показників трофо-сапробіологічного стану та інших комплексних показників за групами

В якості показників трофо-сапробіологічного стану обрано групи загальною, кисневого режиму, вмісту органічних сполук, вмісту біогенних елементів. Результати розрахунків власних значень дисперсії, частки дисперсії та накопиченого % дисперсії наведено у табл. 3.17.

На перший фактор (розчинний кисень) припадає 30,2% від дисперсії 14-х змінних (кумулятивна частка) з найбільшою дисперсією за співпадінням - 4.23. А перші шість компонент – розчинний кисень, рН, температура, ХСК, амоній-іон, нітрит-іон в воді (складають 80,1% змін у вихідному наборі даних), який фіксують або враховують кожен головний компонент (рис.3.10).

Таблиця 3.31 – Власні значення і сумарний внесок компонент в загальну дисперсію.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11	PC 12	PC 13	PC 14
Дисперсія	4,23	2,30	1,59	1,23	0,96	0,90	0,67	0,56	0,43	0,34	0,25	0,20	0,18	0,15
% дисп.	0,30	0,16	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Накоп. % дисп.	30,2	46,6	58,0	66,8	73,7	80,1	84,9	88,9	92,0	94,4	96,2	97,7	99,0	100,

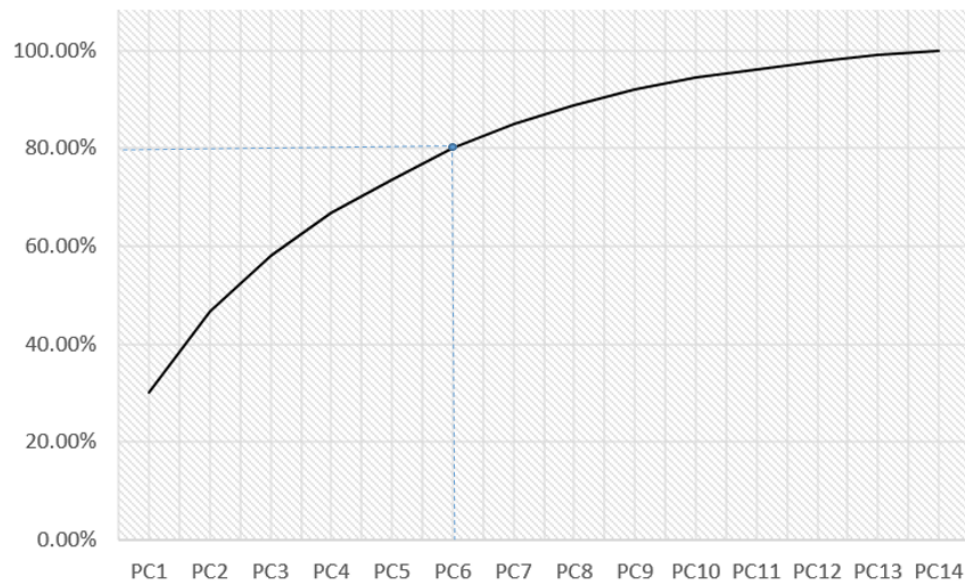


Рисунок 3.10 - Графік залежності накопиченої дисперсії від кількості ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ

Подальші розрахунки для показників трофо-сапробіологічного стану надано у Додатку В. З огляду на обсяги аналізованих таблиць і даних, у Додаток В винесено наступні групи показників:

- Група загальних показників: завислі речовини, прозорість і рН
- Блок показників специфічних речовин: залізо, феноли, ПАР, анілін
- Загальний блок хімічного складу головних компонент (показників) поверхневих вод.

Висновки за результатами проведеного аналізу вищезначених груп такі.

1) По набору параметрів загального блоку показників трофо-сапробіологічного стану: загалом між групами загальною, кисневого режиму, вмісту органічних сполук, вмісту біогенних елементів на фактор розчинного кисню з

варіацій 14-ти змінних підтверджено його кумулятивне значення у врахуванні/фіксації 30,2% варіацій змін інших факторів.

Лише шість компонент - розчинний кисень, рН, температура, ХСК, амоній-іон, нітрит-іон в воді (складають 80,1% змін у вихідному наборі даних), який фіксують або враховують кожен головний компонент.

Розширений за блоком показників компонентний аналіз 14 факторів впливу підтвердив попередньо виявлену необхідність вилучення показника розчинного кисню з переліку компонент, які необхідно контролювати для відслідковування і динамічної фіксації впливів, як такий, що враховує лише 1,2% дисперсії кожної вхідної змінної. Найбільші навантаження факторів впливу за результатами аналізу цього блоку виявлені - показники рН (38%), ХСК (33%), температура води (29%) та азоту амонійного (-26%), завислі речовини (39%), БСК₂₀ (36%), прозорість (44%).

2) По групі загальних показників: завислі речовини, прозорість і рН та інші (загалом 6 факторів) перші три компоненти складають 80,3% змін у вихідному наборі даних, який фіксує або враховують кожен головний компонент, це температура, рН та завислі речовини. На перший фактор (температура води) припадає 36,8% від дисперсії 6-х змінних (його кумулятивна частка) з найбільшою дисперсією, на другий - рН 23%. Виявлено, що компонент завислі речовини необхідно вилучити із перелічених до оптимізованого контролю, як такі, що мають лише 7% дисперсії кожної вхідної змінної, яка враховується, тому вона погано представлена і негативно впливає на наше зменшення розмірності

3) По набору параметрів блоку показників специфічних речовин: залізо, феноли, СПАР, анілін показав відокремленість фіксації впливу кожного з головних компонент блоку за рахунок наявного специфічного складу цих компонент. Тому досягнення 80% бар'єру для оцінення /врахування змін з кумулятивною часткою у 86,7% досягають показники - іон заліза, поверхнево-активні речовини та анілін.

Слід зазначити, що показник ХСК з іншої групи (групи органічного складу) дозволяє врахувати вплив таких органічних компонентів як феноли,

ПАР, анілін. І що пропонується зробити для оптимізації кількості маркерних показників, які потрібно встановити на локальний прилад виміру якості води.

4) За результатами аналізу блоку хімічного складу головних компонент, в який входять усі 22 компоненти розглянуті вище визначено, що перші дев'ять параметрів а саме: середньо добова температура повітря, температура води, рН, розчинний кисень, ХСК, амоній, нітрит, нітрат-іони, сульфат-іон складають 83% змін у вихідному наборі даних, який фіксують або враховують кожен головний компонент.

Виявлені вхідні змінні, що погано представлені (тобто негативно впливають) внаслідок зменшення розмірності. А такими виявилися - розчинний кисень, нітрит та нітрат-іони, фосфати, і кольоровість. Так зміна вмісту перелічених у цій сукупності факторів представлено найнижчими залученими даними дисперсій - менше 5%, що в свою чергу негативно впливає на наше зменшення розмірності (зменшення кількості головних компонент, які відображають вплив). Вплив 42,1% змін фіксують перші два компоненти, а саме температури повітря та води, що свідчить про відповідний вплив, принаймні у одному напрямку. Інші компоненти починаючи з нітрит, нітрат-іонів, сульфат, фосфат-іонів, сухого залишку, завислих речовин, хлорид-іонів, іонів заліза фіксують/враховують сумарний відсоток змін менше 5%.

За результатами аналізу, з перелічених до призначення головних компонент, які враховують впливи та фіксують зміни рекомендовані: (1) середньо добова температура повітря, (2) температура води, (3) рН, (4) ХСК, (5) амоній- іон.

Висновки до розділу 3

Запропонована технологія обґрунтування вибору параметрів якості води, використовуваних в IoT-приладах та станціях моніторингу.

За результатами проведеного компонентного аналізу проведеного для ділянки вод річки Сіверський Донець (код типу масиву UA_R_16_XL_1_SI, номер масиву UA_M6.5.1_0007), розташованої на відстані 444 км до гирла

визначена заміна основного показника виміру (маркерного показника динамічних змін хімічного складу якості вод. А саме вилучено з переліку маркерних показників на підставі доведених результатів розрахунків - показника якості «розчинний кисень». Та рекомендується до вибору і встановлення на датчики автоматизованого контролю і фіксації впливів на цій вибірковій ділянці контролю, такі основні компоненти як рН, ХСК, азот амонійний (амоній-іон).

Представлений підхід є універсальним і може використовуватися при виборі датчиків, розташованих також на стандартних станціях моніторингу поверхневих вод.

Результати розділу опубліковано в роботах автора [2, 14, 15 (Додаток А)]

Література до розділу 3

1. Алексеева Н.П. Прикладная статистика. Часть 2. Многомерные методы. Учеб. пособие, Спб: СТУ, 2020 http://mystatbook.narod.ru/pc_main.pdf
2. Бернштейн А.В., Бурнаев Е.В. Задача снижения размерности в предсказательном моделировании. Тр. межд. конф. «Интеллектуализация обработки информации» (ИОИ-9), Черногория, 16-22 сентября, 2012. М.: ВЦ РАН, 2012. С. 195-192. Режим доступа <https://www.datadvance.net/assets/files/publications/bernstein12a.pdf> (21.10.2020).
3. Кот І. Особливості формування якості природних вод малих річок басейну р. Ірша. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2014. № 2(1). С. 214-223. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2014_2\(1\)__32](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2014_2(1)__32). (21.10.2020).
4. Хемометричні методи в розв'язанні задач якісного хімічного аналізу та класифікації фізико-хімічних даних : монографія / Ю. В. Холін, Я. М. Пушкарьова, А. В. Пантелеймонов, А. Н. Некос. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 184 с.

5. Abdel-Fattah, M. K., S. K. Abd-Elmabod, A. A. Aldosari, A. Elrys and E. S. Mohamed. "Multivariate Analysis for Assessing Irrigation Water Quality: A Case Study of the Bahr Mouise Canal, Eastern Nile Delta." *Water* 12 (2020): 2537.
6. Borgognone, M. G., Bussi, J., & Hough, G. (2001). Principal component analysis in sensory analysis: covariance or correlation matrix? *Food Quality and Preference*, 12(5-7), 323–326. doi:10.1016/s0950-3293(01)00017-9
7. Dillon, W. R. and M. Goldstein (1984) *Multivariate Analysis—Methods and Applications*. Wiley, New York 1984, 587
8. Ji, X., Dahlgren, R. A., & Zhang, M. (2015). *Comparison of seven water quality assessment methods for the characterization and management of highly impaired river systems. Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1). doi:10.1007/s10661-015-5016-2
9. Kebede Y. K. and Kebedee T. (2012). Application of Principal Component Analysis in Surface Water Quality Monitoring, Principal Component Analysis - Engineering Applications, Parinya Sanguansat, *IntechOpen*, DOI: 10.5772/38049. Режим доступа: <https://www.intechopen.com/books/principal-component-analysis-engineering-applications/application-of-principal-component-analysis-in-surface-water-quality-monitoring> (21.12.2020).
10. KMO and Bartlett's Test in *IBM SPSS Statistics V23.0 documentation*. Режим доступа https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_23.0.0/spss/tutorials/fac_telco_kmo_01.html (21.12.2020).
11. Krzanowski W.J. (2000) *Principles of Multivariate Analysis A User's Perspective. Oxford Statistical Science Series*, Oxford University Press, Oxford.
12. Lawley D.N., Maxwell A. Factor Analysis as a Statistical Method. *J. R. Stat. Soc.* 1962, vol. 3, pp. 209–229.
13. Li Ya-nan, Li Yan, Zhang Ting et. al., (2008) Water quality assessment in different water periods of Beitang drainage river in Tianjin, *China Water & Wastewater*, 2008, 24(22): 102-105.
14. Lipovetsky S. (2015) MANOVA, LDA, and FA criteria in clusters parameter estimation, *Cogent Mathematics*, 2:1, 1071013, DOI: 10.1080/23311835.2015.1071013

15. Ouyang Y. (2005) Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water research*, vol. 39 (12), pp. 2621-35 .
16. PCA Chapter 425 NCSS Statistical Software. Режим доступа: https://ncss-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Principal_Components_Analysis.pdf (13.11.2020).
17. Shao B, Hu Z, Liu D. (2019) Using Improved Principal Component Analysis to Explore Construction Accident Situations from the Multi-Dimensional Perspective: A Chinese Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Sep 18;16(18):3476. doi: 10.3390/ijerph16183476. PMID: 31540516; PMCID: PMC6766061
18. Tao X.-F., Huang T., Li X.-F., Peng D.-P., (2016) Application of a PCA based water quality classification method in water quality assessment in the Tongjiyan Irrigation Area, China in *Proceedings of the 2016 5th International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2016)*, <https://doi.org/10.2991/iceep-16.2016.20>
19. Timm N.H. (1975) *Multivariate analysis with applications in education and psychology*. Monterey, CA: Brooks/Cole, 1975.
20. Wu Q., Zhao C., Zhang Y.. (2010). Landscape river water quality assessment by Nemerow pollution index. *2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*. doi:10.1109/mace.2010.5536166
21. Yang W., Zhao Y., Wang D., Wu H., Lin A., He L. (2020) Using Principal Components Analysis and IDW Interpolation to Determine Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality of Xin'anjiang River in Huangshan, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Apr 24;17(8):2942. doi: 10.3390/ijerph17082942.

РОЗДІЛ 4

МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ОСНОВІ ДАНИХ ДОВГОСТРОКОВОГО МОНІТОРИНГУ

У розділі представлено методологію застосування різних методів обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, яка базується на використанні дослідження впливу часового інтервалу та температури сезону на прогнозування розвитку динамічних змін гідрохімічних показників вод р. Сіверського Дінця в реальному часі, впливу закономірностей розвитку обчислених просторово-часових залежностей контрольованих параметрів якості на основі даних довгострокового моніторингу.

4.1 Структура та основні етапи методології комплексного аналізу і прогнозування поверхневих вод на основі довгострокового моніторингу

Особливістю запропонованого підходу є систематизація процесу комплексного аналізу і прогнозування, що дозволяє сформулювати і реалізувати системний підхід до оцінювання залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів характерних для досліджуваної ділянки, який базується на низці відомих моделей і методів, зокрема: статистичних методів (аналіз середніх значень, середньоквадратичне відхилення, відносне відхилення, критерій Стюдента для перевірки гіпотези о середніх), що можуть використовуватися для попереднього аналізу даних; методів дисперсійного аналізу – для оцінки наявності статистичної відмінності між окремими підмножинами показників і виділення маркерних показників; емпірико-статистичні моделей – для визначення факторів впливу; методів кореляційного аналізу – для визначення тісноти лінійної залежності між двома факторами впливу та відображення календарної сезонності; аналізу часових рядів – для динамічного корегування даних, з урахуванням сезонності та факторів впливу; методу ковзних середніх, метод авторегресійного аналізу, методу трьохпараметричного експоненціального згладжування сезонних

даних Хольта – Вінтерса – для побудови моделей прогнозу показників якості води з урахуванням сезонної нерівномірності; ARMA, ARIMA, SARIMA, тощо. Структуру методології комплексного аналізу і прогнозування поверхневих вод на основі даних довгострокового моніторингу розроблено ґрунтуючись на послідовності вирішення завдання і обраного математичного апарату (рис. 4.1).

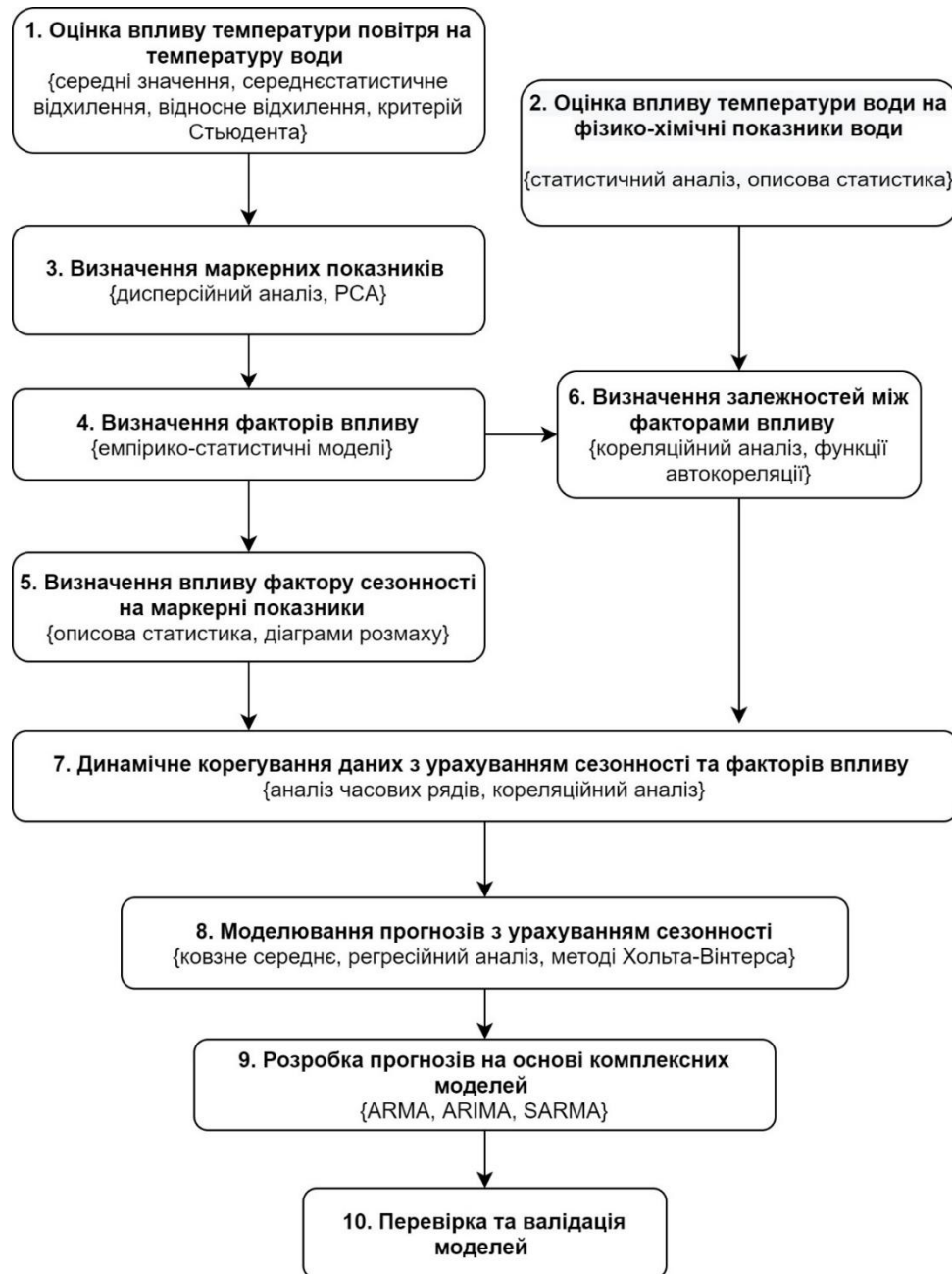


Рисунок 4.1 – Структура методології комплексного аналізу і прогнозування поверхневих вод на основі даних довгострокового моніторингу

Запропонована методологія дозволяє реалізувати системний підхід до обробки довготривалих даних для аналізу якості водоїм, виконувати пошук статистично значущих зв'язків для вибору оптимальної кількості параметрів контролю і визначення набору датчиків в IoT-пристроях контролю якості води в цілому, і відрізняється від існуючих тим, що враховує мінливості видів тенденцій, прогнозів, які спираються на попередні довготривалі спостереження, і можуть в повній мірі забезпечити врахування періодичних/циклічних впливів на якісні показники поверхневих вод, як природного характеру - опадів, зсувів, температурних аномалій, затоплень, далеко виходячи за сезонні адитивні коливання, так і впливи обумовленості, взаємозв'язку системного антропогенного характеру. Застосовує поєднання методів аналізу динаміки змін на підставі комбінованих моделей прогнозування в реальному часі, враховуючи більшість даних досліджуваної вибірки, сезонність, цикл і адаптуючись під динамічні зміни ряду.

Основні етапи методології містять виконання наступних завдань.

1. Попередній аналіз даних з метою визначення впливу температури повітря на температуру води.
2. Попередній аналіз даних з метою визначення впливу/залежності температури води показники її фізико-хімічного складу.
3. Оцінювання наявності статистичної відмінності між окремими підмножинами даних та визначення маркерних показників.
4. Визначення факторів впливу.
5. Перевірка впливу фактору сезонності.
6. Реалізація відображення календарної сезонності та визначити залежності між двома факторами впливу.
7. Динамічне корегування даних з урахуванням сезонності та факторів впливу.
8. Розробка моделей прогнозу показників якості води на основі наявної бази довгострокових даних, з урахуванням сезонної нерівномірності.

9. Розробка комбінованої моделі прогнозування та визначення впливу підвищення температури на основні показники поверхневих вод у період до 2050.

10. Перевірка якості моделей.

Далі кожен з етапів розглянуто більш детально.

4.1.1 Попередній аналіз даних з метою визначення впливу температури повітря на температуру води

Згідно запропонованої методології, на першому етапі проводиться статистичний аналіз даних довгострокового моніторингу. Аналізуються властивості статистичної сукупності - статистичні відмінності між окремими підмножинами даними - ознаками (параметрами), значущості дій середовища, залежності виду зв'язків, динаміки розвитку стану забруднень і зміни у часі, тощо.

Проведення оцінки варіацій розподілу показників дозволяє виявити зв'язки між наявними коливаннями й змінами безпосередньо самої ознаки в межах групи. В процесі виявлення таких змін і закономірностей визначаються наступні види груп: розмір варіацій, форми представленого розподілу та його центр, який формує навколо себе групування ознак, що характеризуються низкою статистичних результатів. До таких статистично відносяться показники середніх, медіана, чверті, мода, і т.д..

Показники середніх значень визначають основний напрям та центр розподілу груп сукупностей показників гідрохімічного складу води.

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{\sum X^m}{n}} \quad (4.1)$$

де x - значення ознаки, яка змінюється (варіюється), m - показник ступеня визначеної середньої, n - кількість видів.

Вивчення змінних (варіацій) дозволяє проводити оцінку диференціації та сталості спостережень в кожній досліджуваній групі, пов'язаних з впливом

температури при застосуванні традиційних методів статистичної обробки. Оцінення кожної варіації можливо з залученням допоміжних характеристик з відносними та абсолютними характеристиками, а саме: розмаху варіації, середньому лінійному відхиленню; середньому квадратичному відхиленню; дисперсії; коефіцієнту варіації.

Визначене значення коливань між найбільшим X_{max} та меншим X_{min} параметром ознаки - «розмаху варіації» проводяться за рівнянням:

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (4.2)$$

Вияв варіації ознак в середині відповідної групи (сукупності) за допомогою дисперсії та середнього квадратичного відхилення розраховуються відповідно за ф. (4.3) і (4.4).

$$\sigma = \sqrt{\frac{m \sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (4.3)$$

де m - кількість сукупності (групи), n - їх чисельність, σ - відхилення середньо квадратичне (по не згрупованим даним), \bar{x} - середнє значенням ознаки,.

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{m \sum (x - \bar{x})^2 f}{\sum f}} \quad (4.4)$$

де f - число згрупованих об'єктів, σ_f - відхилення середньо квадратичне (по згрупованим даним), $\sum f$ - чисельність m -ої групи.

За оцінку істотності зв'язків відповідає дисперсійний аналіз шляхом відношення визначених дисперсій. Для парної регресії оцінка значущості ознак визначається за критерієм t-Стюдента, що розраховується для коефіцієнту кореляції і коефіцієнту регресії за ф. (4.5) і (4.6) відповідно:

$$t_r = \sqrt{\frac{r^2}{1-r^2} \cdot (n-2)} \quad (4.5)$$

$$t_b = |b| \sqrt{\frac{\sigma_{\hat{y}}}{\sigma_{\hat{x}}}} \cdot (n-2) \quad (4.6)$$

де r - коефіцієнт кореляції між змінними, r^2 - розрахункове значення критерію t-Стюдента, n - кількість експериментальних точок, $\sigma_{\hat{y}}$ - загальна середня дисперсія, $\sigma_{\hat{x}}$ - дисперсія факторної (варіюючої) ознаки.

Якщо $t > t_a$, то коефіцієнт регресії приймається значущим (має відповідне значення в генеральній сукупності), де t_a - коефіцієнт, який знаходиться за табличними даними розподілу Стюдента за відповідним рівнем істотності «а» для яких ступенів вільності приймаємо «n-2».

Довірчий інтервал і межі коефіцієнту регресії встановлюють за ф. (4.7):

$$b \pm \Delta_b, \quad \Delta_b = t_a \cdot \mu, \quad \mu = \sqrt{\frac{\sum(y-\hat{y})^2}{\sum(x-\bar{x})^2}} \cdot \frac{1}{n-2}, \quad (4.7)$$

де \hat{y} - середня величина результативної ознаки, μ - гранична похибка для коефіцієнту регресії при n-2 - ступінь вільності, b - загальний коефіцієнт регресії, який відображає на скільки вивчаємий фактор за своєю мірою впливає на варіацію результативної ознаки, Δ_b - показник середнього лінійного відхилення ознаки регресії від її факторної залежності, \bar{x} - величина середньої варіюючої ознаки фактору.

В результаті проведеного етапу можна дослідити загальні ознаки сукупності даних якісного складу поверхневих вод на досліджуваній ділянці/точці, визначити результативну міру і ступінь варіації змінних ознак для визначення характеристик сталості мінливих явищ і тих змін, які відбуваються за чинниками факторів впливу. І далі як етап обробки довгострокових даних провести факторне групування за визначеною однорідністю статистичних сукупностей, обґрунтоване знайденим впливом істотних ознак. Застосовуючи метод дисперсійного аналізу провести оцінку

наявності зв'язків, залежності частки впливу різних факторів на відповідні варіації ознак даних (що дозволяє оцінити ступень варіації впливу конкретних факторів чи їх групи на силу й ступень зв'язку ознак досліджуваного фактору, з визначеним параметром контролю, з оцінкою вірогідності впливу випадкового фактору між ознаками, оцінки достовірності впливу для підтвердження істотності зв'язків по критерію Фішера). Для поглибленого дослідження й кількісної оцінки аналізу істотності залежності параметрів якості вод (результативної ознаки) при зміні факторних ознак впливу на ділянці спостереження обчислити щільність взаємодії корельованих ознак. І при визначенні їх істотності реалізувати побудову регресійної моделі для прогнозування кількісних змінних існуючих закономірностей екологічних процесів.

4.1.2 Попередній аналіз даних з метою визначення впливу температури води показники її фізико-хімічного складу

Етап передбачає виявлення закономірностей розподілу, використовуючи побудову графіків для досліджуваних рядів даних розподілу. Найбільш поширеним методом візуалізації є гістограми. Необроблені дані, представлені у вигляді гістограм аналізуються відносно типу розподілу. Для більш детального визначення типу розподілу ймовірностей можливо використання статистичного програмного забезпечення.

4.1.3 Оцінювання наявності статистичної відмінності між окремими підмножинами даних та визначення маркерних показників

Завданням дисперсійного аналізу було:

- оцінити міру суттєвості впливу одного або групи факторів;
- оцінити міру суттєвості впливу випадкових факторів;
- оцінити вірогідність взаємодії між ознаками:
 - а) не згрупованих даних за ф. (4.8):

$$\sigma = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n} \quad (4.8)$$

б) згрупованих даних за ф. (4.9)

$$\sigma = \frac{\sum(x-\bar{x})^2 f}{\sum f} \quad (4.9)$$

де \bar{x} - середній показник варіюючої ознаки, середня величина, n - кількість експериментальних точок, f - кількість місць впливу фактору.

Тому зручніше провести обчислювання сумарної дисперсії за ф. (4.10) різниці квадратів:

$$\sigma^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (4.10)$$

де $\overline{x^2}$ - середній показник варіюючої ознаки в квадраті., \bar{x}^2 - середня величина квадрату значень варіюючої ознаки.

Таким чином, для відповідних даних формула дисперсії матиме вигляд:

а) не згрупованих за ф. (4.11):

$$\sigma^2 = \frac{\sum x^2}{n} - \left(\frac{\sum x}{n}\right)^2 = \frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2} \quad (4.11)$$

б) згрупованих за ф. (4.12):

$$\sigma^2 = \frac{\sum x^2 \cdot f}{\sum f} - \left(\frac{\sum x \cdot f}{\sum f}\right)^2 = \frac{\sum f \sum x^2 \cdot f - (\sum x f)^2}{(\sum f)^2} \quad (4.12)$$

де n - кількість експериментальних точок, f - кількість місць впливу фактору

Значення дисперсійного аналізу використовується для оцінки форми взаємозв'язку, оцінки впливу факторів, доцільності долучення в сформовану модель досліджених факторів:

- у спостереженнях за вибором

- у аналізі кореляції

Значення дисперсії середня за середньою варіацією в розрахунку за ф. (4.13) на одиницю сукупності:

$$\sigma^2 = \sum \frac{(x-\bar{x})^2}{N} \quad (4.13)$$

де N- кількість точок спостереження, \bar{x} - середнє значення змінної (варіюючої) ознаки.

Дисперсія середня (s^2)- середня варіація в розрахунку за ф. (4.14) на одну ступінь вільності:

$$s^2 = \sum \frac{(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad (4.14)$$

де \bar{x} - величина середнє значення варіюючої ознаки, (N-1)- показник ступеню вільності, який завжди буде меншим на одиницю за кількість спостережень / вимірів для загальної варіації та для між групової варіації - відповідно за кількість групи.

Коефіцієнт детермінації η^2 ($0 \leq \eta^2 \leq 1$) - є мірою визначення сили взаємозв'язку результативної і факторної ознак, тобто їх ступінь впливу:

1) систематичного фактора обчислюється за ф. (4.15)

$$\eta^2 = \frac{D_i}{D} = \frac{\sigma^2_i}{\sigma^2}, \quad (4.15)$$

де (σ^2) - середній квадрат відхилення, σ^2_i - загальна дисперсія, σ^2_i - факторна дисперсія, D - загальний обсяг варіації, D_i - обсяг варіації систематичних факторних ознак, i - індекс детермінації, який показує яка частка загальної результативної варіації пояснюється фактором впливу.

2) та відповідно випадкового фактора за ф. (4.16):

$$\eta^2 = \frac{D_{\hat{a}}}{D_i} = \frac{\sigma^2_{\hat{a}}}{\sigma^2_i}, \quad (4.16)$$

де (σ^2) - середній квадрат відхилення, $\sigma^2_{\hat{\epsilon}}$ - загальна дисперсія, $\sigma^2_{\hat{a}}$ - факторна дисперсія із випадкових причин, $D_{\hat{\epsilon}}$ - загальний обсяг варіації, $D_{\hat{a}}$ - обсяг варіації факторних ознак із випадкових причин.

Відношення дисперсій (як критерій Фішера) $F \geq 1$ - є мірою оцінки достовірності впливу фактору. Критерій вивчається і застосовується для визначення істотного зв'язку, тобто вірогідності впливу за ф. (4.17) і (4.18) відповідно:

а) систематичних факторів:

$$F = \frac{S_M^2}{S_B^2}, \text{ при } S_M^2 > S_B^2 \quad (4.17)$$

б) випадкових факторів:

$$F = \frac{S_B^2}{S_M^2}, \text{ при } S_M^2 < S_B^2 \quad (4.18)$$

де S_M^2 - міжгрупова дисперсія, S_B^2 - внутрішньогрупова дисперсія

Достовірніший вплив визначається більшим значенням F .

4.1.4 Визначення факторів впливу

З метою впорядкування, систематизації екологічної інформації були використані емпірико - статистичні методи первинної обробки даних вимірів для їх кількісної оцінки й визначення характеру залежності між факторами впливу і результативними показниками. Для визначення впливу фактора сезонності використані графічні інструменти побудови діаграми «ящик з вусами», за допомогою яких можливо описати, перевірити значення в наборі даних для кожного з дванадцяти місяців часового періоду, наочно оцінити розподіл даних по місячних варіаціях, де форма кожного ящика дає наглядне представлення розподілу ознаки параметру якості.

4.1.5 Перевірка впливу фактору сезонності

Для перевірки впливу фактору сезонності застосовані методи описової статистики, що дозволило провести узагальнення, результатів аналізу первинних емпіричних даних моніторингу, зведення до групування по їх значенням, ознакам. Впорядкування змін ознак за розмахом варіації, з групуванням по місяцям, дозволило встановити основні тенденції і закономірності розвитку динамічного ряду, ідентифікувати періоди різких змін, обґрунтувати підходи до побудови прогнозних моделей розвитку результативних даних виміру в часі. Представлення інтенсивності розвитку, сталості і міри коливання динамічних змін даних якості поверхневих вод за хронологією проведено з побудовою лінійних діаграм в порівнянності за кожним місяцем.

4.1.6 Реалізація відображення календарної сезонності та визначити залежності між двома факторами впливу

Для поглибленого аналізу взаємозв'язку явищ дисперсійний аналіз не придатний, оскільки він не дає змоги виразити існуючий зв'язок між ознаками p у вигляді математичного рівняння, яке б характеризувало механізм взаємодії факторних і результативних ознак, що проявляються як правило у великих за обсягом сукупностях. До того ж, дисперсійний аналіз є ефективним лише при малій кількості факторних ознак, тоді як екологічні явища формуються під впливом багатьох причин[11].

Визначаючи кореляційну залежність/зв'язок будь якого визначеного значення змінної/результату спостереження може співвідноситись від однієї до багатьох варіюючих значень інших змінних/даних. Головна відмінність залежності кореляційної від функціональної - це те, що останній зв'язок спостерігається в кожному окремому випадку спостереження, а кореляційний - лише у всієї сукупності визначень або її середнього обчислення, що

призводить до приблизних результатів визначення в досліджуваній вибірці спостережень.

Коефіцієнт кореляції відображає оцінку щільності або сили зв'язку і розраховується за ф. (4.19):

$$R(r, i, h) = \frac{\sqrt{\sigma_0^2}}{\sigma_i^2} \quad (4.19)$$

де σ_0^2 - значення дисперсії загальної, відповідно варіації результативного показника, що не має залежити від результатів факторної ознаки; σ_i^2 - значення дисперсії факторної, що розраховується з урахуванням лінійного зв'язку, і пояснює пов'язану варіацію; r - парний коефіцієнт кореляції (показник щільності при лінійному, парному зв'язку), i - показник індексу кореляції (для парного взаємозв'язку), R - значення сукупного коефіцієнту кореляції.

Величина кореляційного відношення η ($0 \leq \eta \leq 1$) відображає ступінь взаємозв'язку між результативною і факторною ознакою, і розраховується за ф. (4.20) і ф. (4.21) відповідно:

-систематичного фактора (міжгрупового):

$$\eta_M = \sqrt{\frac{\sigma_M^2}{\sigma_0^2}}, \quad (4.20)$$

- випадкового фактора (залишкового):

$$\eta_B = \sqrt{\frac{\sigma_B^2}{\sigma_0^2}}, \quad (4.21)$$

де η - величина кореляційне відношення при багатомножинному зв'язку, сила зв'язку, σ_0^2 - загальна дисперсія, σ_M^2 - міжгрупова дисперсія, σ_B^2 - внутрішньогрупова дисперсія.

4.1.7 Динамічне корегування даних з урахуванням сезонності та факторів впливу

Для сезонних помісячних часових рядів поточні значення результатів спостереження пов'язані з такими ж співставленнями місяцями в інші роки. Автокореляція даних демонструє визначену сезонність, тому для їх прогнозування з корегуванням на визначену сезонну міру коливань дозволить краще визначити тенденції динамічних змін факторів впливу на стан водної системи. Виявити характер змін даних з впливом сезонності значно збільшують точність прогнозів часових рядів.

4.1.8 Розробка моделей прогнозу показників якості води на основі наявної бази довгострокових даних, з урахуванням сезонної нерівномірності

Головною метою статичного моделювання в екології є побудова статичних прогнозів для модельованого процесу [4]. Найпростішим випадком статичної моделі є однофакторні моделі процесів. Поширеним підходом екологічного моніторингу є відслідковування та фіксування параметрів залежностей окремих даних якості поверхневих вод в стаціонарних місцях виміру за періодичним графіком періоду виміру за дискретними даними, отриманим в окремих точках забору. Існує декілька методів визначення функції регресії:

Оскільки рівняння визначення регресії має ймовірний характер, то можливо використання ф. (4.22)

$$y = \hat{y} + e, \quad (4.22)$$

де e - значення випадкової величини, що об'єднує вплив усіх неврахованих та невідповідних факторів вибіркової сукупності до генеральної.

Щоб визначити випадкову складову компоненти розраховуємо залишкову дисперсію σ_3^2 , яка характеризує таку не оцінену варіацію в результативних значеннях відносного розрахунку \hat{y} за ф. (4.23):

$$\sigma_3^2 = \sum(\tilde{o} - \acute{o})^2 \quad (4.23)$$

де \tilde{o} - пояснена варіація факторів будь-якої сукупності (генеральної чи вибіркової), \acute{o} - не пояснена варіація факторів/ компонентів, які не включені до лінійної моделі.

Сума поясненої і поясненої варіації дорівнює загальній варіації.

Надійність рівняння регресії може бути оцінено за критеріями Фішера, розрахункове значення якого обчислюють за ф.(4.24):

$$F = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{(y - \hat{y})^2} \cdot \frac{n-z-1}{z}, \quad (4.24)$$

де z - значення числа параметрів в рівнянні регресії, n - кількість одиниць спостереження, z - кількість змінних.

Після визначення значення F - критерію його порівнюють з приведеними в таблиці значеннями розподілу Фішера, з врахуванням потрібного рівня істотності й значення ступенів вільності. Якщо розрахункове значення перевищує величину в таблиці, це свідчить про те, що гіпотеза про присутня рівність дисперсій в генеральній та вибірковій сукупностях підтверджується, і відповідно розподіл вважається значущим.

В рамках даної роботи, і якості базового методу прогнозування використано ARIMA (AutoRegressive Integrated MovingAverage). Ця модель дозволяє описати стаціонарні і нестаціонарні часові ряди, хоча й відноситься до класу лінійних методів. До того ж, в ній не використовуються незалежні змінні, що означає використання для прогнозу тільки інформації, закладеної в самих даних.

Авторегресійна модель (AR) порядку p має наступний вигляд за ф. (4.25):

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (4.25)$$

де Y_t - залежна змінна в момент часу t ; $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ - оцінювані коефіцієнти, ε_t - помилка, яка описувала впливи змінних, які не враховуються в моделі.

Модель ковзаного середнього (MA) порядку q описується за ф. (4.26) наступним чином:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} \quad (4.26)$$

де Y_t - залежна змінна в момент часу t , μ - постійне середнє процесу, ε_t - помилка в момент часу t ; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_q$ - оцінювані коефіцієнти [3].

Для докладного вивчення великої кількості даних та визначення скритих тенденцій інтенсивності змін водного балансу пропонується використати трьохпараметричне експоненціальне згладжування.

Експоненціальне згладжування сезонних даних виконується з використанням трьох констант згладжування за методом Хольта-Вінтерса [10, 12], який використовується для прогнозування часових рядів, коли в структурі даних є сформований тренд і сезонність. Модель прогнозу Хольта-Вінтерса - це 3-х параметрична модель прогнозу, яка враховує: тренд, згладжений експонентний ряд, сезонні коливання.

Цей метод дозволяє зробити прогнозування на тривалий період, використовуючи довготривалі дані (не менше п'яти років), тобто для прогнозування по досліджуваному десятирічному періоду виконуються всі необхідні вимоги.

Для управління сезонністю необхідно ввести в рівняння, саме третій параметр - сезонність. Розрізняють моделі для різних типів сезонності, а саме: модель с адитивною [18] та мультиплікативною [10] сезонністю (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Моделі лінійного тренду Хольта - Вінтерса для різних типів сезонності [7]

моделі Хольта (несезонної) за ф. (4.27):	моделі з адитивною сезонністю за ф.(4.28):	моделі з мультиплікативною сезонністю за ф.(4.29):
<i>I. Послідовна форма розрахунку:</i>		
$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$	$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$
$T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$	$T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$	$T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$
$\vec{x}_t(m) = S_t + kT_t$	$\vec{x}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$	$\vec{x}_t(m) = (S_t + mT_t)I_{t-p+m}$
	$I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$	$I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$
<i>II. Скорегована форма, з врахуванням помилки:</i>		
$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha\xi_t$	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha\xi_t$	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha\xi_t/I_{t-p}$
$T_t = T_{t-1} + \gamma\alpha\xi_t$	$T_t = T_{t-1} + \gamma\alpha\xi_t$	$T_t = T_{t-1} + \gamma\alpha\xi_t/I_{t-p}$
$\vec{x}_t(m) = S_t + mT_t$	$\vec{x}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$	$\vec{x}_t(m) = (S_t + mT_t) I_{t-p+m}$
	$I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)\xi_t$	$I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)\xi_t/S_t$

де S_t - рівень ряду, який згладжено за підрахуванням після відслідковуваного x_t , x_t - відслідковане спостереження часового ряду в періоді t , γ - показник величини згладжування для тренду, δ - показник згладжування для чинників сезонного впливу, α - показник величини згладжування для рівня ряду, t - період даних в моделі, T_t - згладжуваний тренд на прикінці t періоду, I_t - сезонний індекс, що згладжено або

факторовано в кінці періоду t , k - кількість періодів в прогнозуванні, p - кількість періодів змін в циклі за сезон, $\bar{x}_t(m)$ - прогнозування на m майбутніх періодів від початкового періоду t , ξ_t - помилка прогнозування, прорахована з опередженням на крок.

Алгоритм розрахунку прогнозу за методом експоненціального згладжування з урахуванням тренду і сезонності складається з наступних чотирьох кроків:

1) Розрахувати експоненційно-згладжений ряд за ф. (4.30):

$$L_t = k \cdot \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - k) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4.30)$$

де S_{t-s} - значення коефіцієнту сезонності за попередній період, Y_t - значення ряду в поточній точці періоду (наприклад, значення параметру якості води), L_t - результат згладженої величини в поточному періоду, L_{t-1} - результат згладженої величини в попередньому періоді, T_{t-1} - результат визначення тренду в попередньому періоді, k - значення коефіцієнту згладжування ряду (від 0 до 1).

Для початкового розрахунку першого періоду даних експоненційно-згладжений ряд приймається рівною до величини першого значення в ряді (приклад, значення параметру якості води за перший місяць) $L_1 = Y_1$, тоді сезонність за перший і другий періоди S_{t-s} буде дорівнювати 1.

2) Розрахувати значення тренду за ф. (4.31):

$$T_t = b \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - b) \cdot T_{t-1} \quad (4.31)$$

де L_t - значення експоненційно- згладженої величини в поточному періоді, T_t - величина тренду в поточному періоді, b - значення коефіцієнту згладжування тренду (від 0 до 1), T_{t-1} - величина тренду в попередньому періоді (для першого періоду $T_1 = 0$), L_{t-1} - розрахункова експоненційно-згладжена величина за попередній період.

3) Провести оцінку сезонності за ф. (4.32):

$$S_t = q \cdot \frac{Y_t}{L_t} + (1 - q) \cdot S_{t-s} \quad (4.32)$$

де S_t - значення коефіцієнту сезонності у поточному періоді, Y_t - величина поточного значення в ряді (обсяг забруднення), L_t - визначене згладжене значення у поточному періоді, q - значення коефіцієнту сезонного згладжування, S_{t-s} - значення сезонного коефіцієнту за такий самий період у попередньому сезоні.

4) Виконати прогноз за ф.(4.33):

$$\widehat{Y}_{t+p} = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p} \quad (4.33)$$

де \widehat{Y}_{t+p} —прогнозне значення на визначене p періодів вперед за методом Хольта-Вінтерса, T_t - визначений в останньому періоді тренд, L_t - значення експоненційно згладженої величина за останній період, p - номер періоду для прогнозу за порядком настання, S_{t-s+p} - значення сезонного коефіцієнту у тому самому періоді останнього сезону.

Алгоритм оцінки точності моделі Хольта-Вінтерса і підбору оптимальних коефіцієнтів згладжування для визначеного тренду - ряду - сезонності містить наступні кроки:

1) Виконати розрахунок прогнозу для оцінки моделі на один період вперед для кожного місяця до ф.(4.33) для відомих показників.

Прогноз для оцінки моделі в першому і другому році (сезоні) дорівнюють сумі значення експоненційно-згладженого ряду у попередньому періоді та значення тренду за попередній період (де період прогнозу $p = 1$, це прогноз на 1 період).

Прогноз для оцінки моделі в третьому році (сезону) дорівнюватиме сумі значення експоненційно-згладженого ряду за попередній період та значення

тренду за попередній період, яке помножене на коефіцієнт сезонності цього періоду в попередньому сезоні.

2) Виконати розрахунок помилки моделі за різницею між фактичними даними спостережень та прогнозними на цей період.

3) Виконати розрахунок відхилення помилки моделі від прогнозованої моделі за співставленням помилки моделі в квадраті до фактичного значення в квадраті.

4) Виконати розрахунок точності прогнозу, яка дорівнюватиме різниці між одиницею та середнім значенням відхилень.

Для підбору коефіцієнтів згладжування тренду - ряду - сезонності k , b і q відповідно, при яких буде виконане найточніше прогнозування, поступово підберемо всі значення цих коефіцієнтів в діапазоні від 0 до одиниці, і знайдемо відповідне поєднання, при якому забезпечуватиметься найбільша точність прогнозу, наближена до 100%.

4.1.9 Комбінована модель прогнозування та визначення впливу підвищення температури на основні показники поверхневих вод у період до 2050 року

Комбіновану модель авторегресії і ковзаного середнього (ARMA/ARIMA) розроблено для нестационарних часових рядів, які можна привести до стаціонарних, використовуючи оператор послідовної різниці.

Припустимо, що є часовий ряд Y_t , до якого d раз застосували даний оператор, після чого ряд став стаціонарним $\Delta_d Y_t$ і задовольняє умовам моделі ARMA (p, q) за ф.(4.34-4.37):

$$\Phi(L)Y_t = \delta + \theta(L)\varepsilon_t \quad (4.34)$$

$$\Phi(L) = 1 - \varphi_1 L - \dots - \varphi_p L^p \quad (4.35)$$

$$\omega(L) = 1 - \omega_1 L - \dots - \omega_q L^q \quad (4.36)$$

$$\varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t = \mu + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} \quad (4.37)$$

де Y_t - залежна змінна в момент часу t , L - позначення зворотнього зсуву, Y_{t-p} - залежна змінна в попередній момент часу t ; $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ - оцінювані коефіцієнти авторегресії, ε_t - помилка в момент часу t , яка описувала впливи змінних, які не враховуються в моделі, μ - постійне середнє процесу, $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_q$ - оцінювані коефіцієнти ковзаного середнього, ε_t - гаусовський білий шум з нульовим середнім та постійною дисперсією (σ^2), таким чином виконується умова за ф. (4.38):

$$\varepsilon_t \sim iid(0, \sigma^2) \quad 4.38$$

У такому випадку Y_t буде назватися інтегрованим процесом авторегресії і змінного середнього або ARIMA (p, d, q) [1].

Дана модель дозволяє будувати досить точні прогнози з невеликою дальністю прогнозування. Вона також досить гнучка і може підійти для опису різних часових рядів. До того ж, моделі ARIMA просто перевіряються на їх адекватність. Однак до мінусів цього підходу можна віднести потребу у великій кількості вихідних даних і відсутність простого способу коригування параметрів моделі.

В разі, якщо в ряді даних присутня сезонність, то модель ARIMA перетворюється в SARIMA (p, d, q) X (P, D, Q) s, де p - порядок AR, d - параметр різниці, q - порядок MA, P - порядок SAR, D - параметр сезонної різниці, Q - порядок SMA і s - лаг сезонності.

У більш формальному вигляді, модель може бути представлена ф. (4.39):

$$\Phi_P(B^s) \rho_P(B) (1 - B)^d (1 - B^s)^D Y_t = \omega_Q(B^s) \omega_q(B) e_t \quad (4.39)$$

де $\Phi_p(B^s)$ - функція SAR(P), $\rho_p(B)$ - функція AR(p), $(1 - B)^d$ - оператор різниць d для ARIMA, $(1 - B^s)^D$ - оператор сезонних різниць D , $\omega_q(B^s)$ - функція SMA(Q), $\omega_q(B)$ - функція простій MA(q).

Варто відзначити, що стандартні моделі типу ARMA не дозволяють відслідкувати незвичайну волатильність в даних, оскільки в таких моделях умовна варіація постійна. Для вирішення проблем, пов'язаних з урахуванням випадкових викидів в даних, можна використовувати методи ARCH / GARCH.

ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) являє собою модель авторегресії умовної гетероскедастичності. У таких моделях умовна варіація має структуру, схожу зі структурою умовних очікувань в моделях авторегресії. Якщо залишкова помилка $a_{(t-1)}$ має незвично велике абсолютне значення, то прогноз умовної волатильності на наступний період, σ_t , буде більше звичайного, і a_t також буде володіти незвично великою магнітудою. Через таку поведінку незвичайна волатильність в a_t має тенденцію до збереження, хоч і не назавжди. Умовна варіація схильна повертатися до безумовної дисперсії, яка забезпечує виконання умови $\alpha_1 < 1$, перетворюючи процес в стаціонарний з кінцевою варіацією.

До властивостей даної моделі можна віднести нелінійну варіацію і лінійне математичне очікування за ф. (4.40) і ф. (4.41) відповідно :

$$Var(a_t) = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_1} \quad (4.40)$$

$$\text{та } E(a_t) = 0 \quad (4.41)$$

Переваги цього підходу полягають в легкості побудови моделі та можливості враховувати кластерні помилки і нелінійність [16].

Що стосується методу GARCH, який представляє собою узагальнений різновид ARCH моделі (Generalized ARCH) [14], яка за своєю ідеєю нагадує ARMA. Вона є моделлю середньозважених минулих квадратів залишків, але володіє зменшуваними вагами, які ніколи не досягають нуля. Даний підхід

дозволяє успішно прогнозувати умовну варіацію. У моделі GARCH варіація описується виразом (4.42)

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (4.42)$$

де вага $\alpha_0 > 0$, $\alpha_1 > 0$, $\beta_1 > 0$, $\alpha_1 + \beta_1 < 1$, то означає, що прогноз варіації на наступний період являє собою суміш з прогнозу на минулий період і квадратних залишків минулого періоду. Безумовна варіація описується ф.(4.43):

$$Var(a_t) = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_1 - \beta_1} \quad (4.43)$$

У моделі GARCH (1,1) перше число відноситься до кількості авторегресійних лагів (умов ARCH), які використовуються в рівнянні, в той час як друге число визначає кількість лагів змінного середнього (умовами GARCH) [5]. Крім зазначених вище моделей існує чимало їх розширень і модифікацій. Наприклад, GARCH (1,1) може бути приведена до загального вигляду GARCH (p, q), моделі з додатковими лагами. Такого роду специфікація корисна, коли використовуються довгострокові дані. До недоліків моделей ARCH/GARCH можна віднести той факт, що вони ігнорують інформацію про напрямлення помилок. Щоб врахувати цей факт були розроблені асиметричні моделі GARCH, однак, всі методи з сімейства методів ARCH працюють тільки в умовах гетероскедастичності.

4.2 Приклад реалізації методології комплексного аналізу змін фізико-хімічних показників поверхневих вод на основі даних довгострокового моніторингу

Для демонстрації потенціалу запропонованої методології використано дані спостережень 2007-2017 рр. хімічного складу вод річки Сіверський Донець (район басейну річки Дон, номер масиву, код типу масиву

UA_R_16_XL_1_SI, номер масиву UA_M6.5.1_0007, розташування по висоті - низовинне, геологія - силікатні, точка забору 444 км). Контрольна вибірка складається з наборів даних отриманих після вимірювань фізико-хімічного складу в межах 12 місяців, за період 2007-2017 р.

4.2.1 Вихідні дані для розрахунків

Досліджувані параметри: температура повітря, температура води, 19 фізико-хімічних показників води: «кольоровість»; прозорість; рН; завислі речовини; хімічне споживання кисню (ХСК); азот амонійний; азот нітритний; азот нітратний; хлориди; сульфати; іони заліза; феноли; розчинний кисень; біологічне споживання кисню (БСК₅); біологічне споживання кисню (БСК_{повн}); сухого залишку; жорсткість (сума іонів магнію та кальцію); фосфати; аніоноактивні поверхнево-активні речовини (аПАР).

Період прогнозування: В якості контрольного періоду для моделювання показників якості вод обрано 2050 рік.

В роботі ставилась задача перевірити наявність одночасних змін показників якості та їх щільності розподілу в залежності від сезону (межах календарного періоду), а саме:

- залежності температури води від температури повітря в межах сезонних коливань температури води;
- коливань значень показників хімічного складу від температури води;
- зв'язків між показниками якості води, що мають одночасні не типові, аномальні зміни або викиди даних за межі стандартного відхилення;
- факторів впливу на збільшення розкиду даних досліджуваних параметрів;
- підтвердження вибору маркерних показників для опису варіаційних змін хімічного складу поверхневих вод.

Очікувалося виявити декілька показників, що відображають у відповідній кратності характеристику змін інших забруднюючих речовин.

4.2.2 Основні етапи реалізації методології

Для попереднього вияву тенденцій і закономірностей розподілу значень параметрів фізико-хімічних ознак стану водойми, а саме наявності й частоти змін коливань від зміни ознаки впливу проведено вивчення варіації взаємопов'язаних причин за визначенням статистичної сукупності коливань значень параметру ознаки, що спостерігається в конкретних часових та просторових умовах під впливом варіації загальних тенденцій змін, що спостерігалися впродовж довгострокових спостережень.

4.2.2.1 Визначення залежностей температури поверхневих вод від температури повітря на в рядах даних довгострокових спостережень

Завданням цього етапу є оцінка впливів температури повітря в точці виміру та температури води на відповідні показники якості водойми.

Проведено аналіз рівня середньодобової температури повітря в точці виміру показників якості поверхневих вод (444 км р. Сіверський Донець) за період 2010-2017 років за часовим розподілом по місяцях та роках. Графіки розподілу надано на рис 4.2- 4.4.

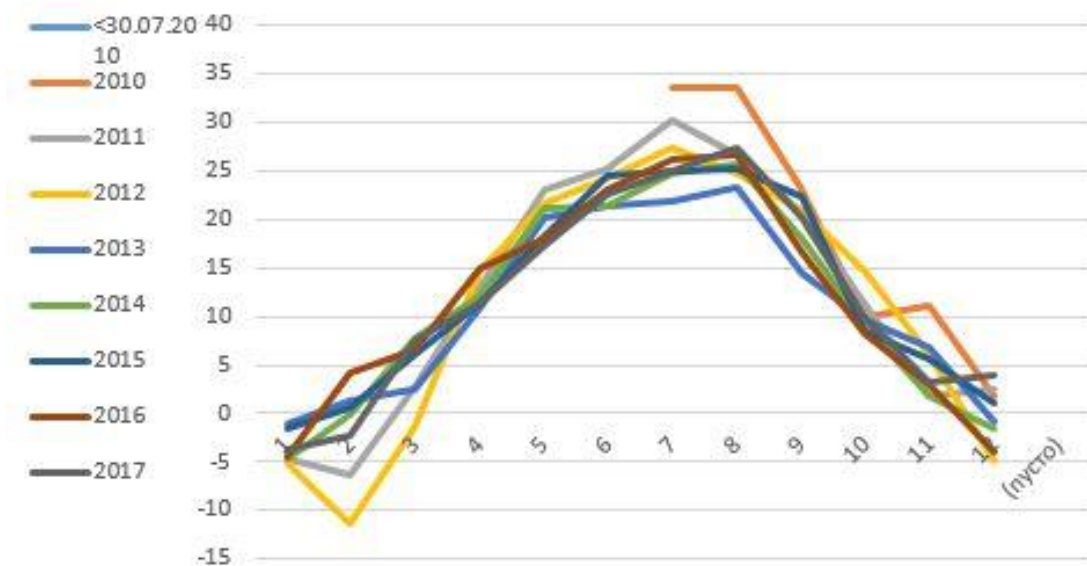


Рисунок 4.2 - Порівняльний розподіл середньодобової температури повітря за часовий період 12 місяців 2010 - 2017 р.

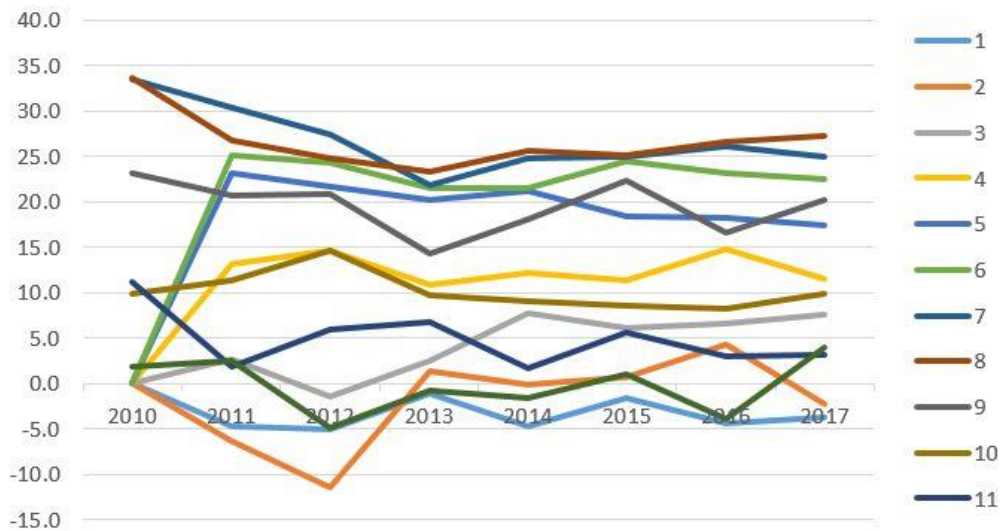


Рисунок 4.3 - Порівняльний графік розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

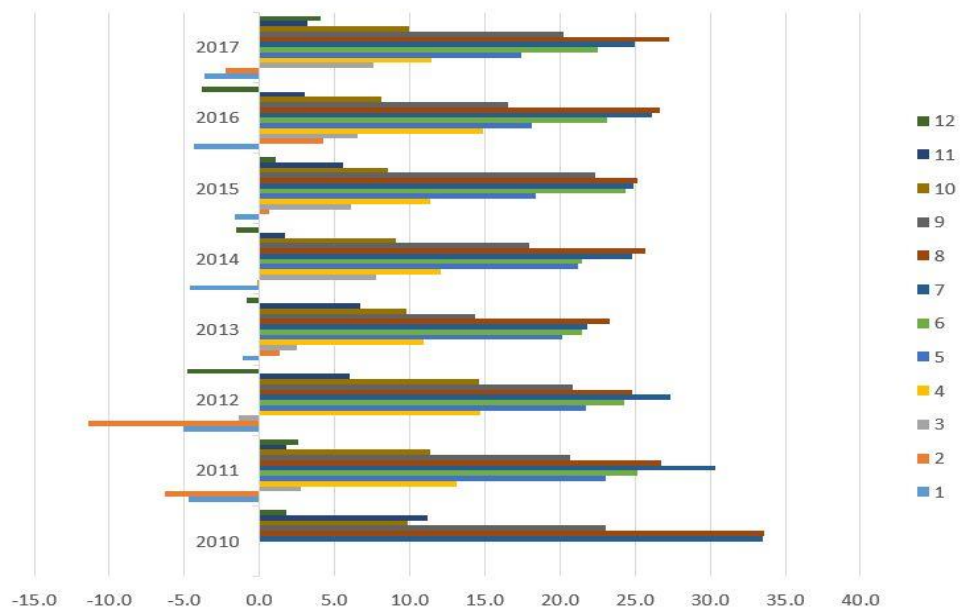


Рисунок 4.4 - Порівняльна діаграма розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

Порівняльний аналіз даних температурного скринінгу в точці виміру по погодних сезонах показав, що найспекотніше літо було в 2010 році - липень (33,5 °C) і серпень (33,6 °C), а найпрохолодніше в 2013 році - холодне спостерігається липень (21,8 °C) і серпень (23,3 °C).

Відповідно раніше прийшла зима за температурними показниками в 2012 році (грудень - (-4,9) °С та 2016 році (-3,9) °С), й відповідно найхолоднішою вона була у 2012 році (лютий - (-11,4) °С), а більш теплою у 2016 році - лютий 4,2) °С.

Проведено аналіз рівня середньодобової температури води. Графіки розподілу надано на рис 4.5- 4.6.

За цим статистичним аналізом виявлено збільшений розкид значень показника температури води у зимовий період 2011, 2012, 2016 років - у січні, лютому місяцях; у 2014 році - у січні місяці, що говорить про велику варіабельність фактичного показника температури від року в рік, саме в зимовий період з амплітудою раз на два роки.

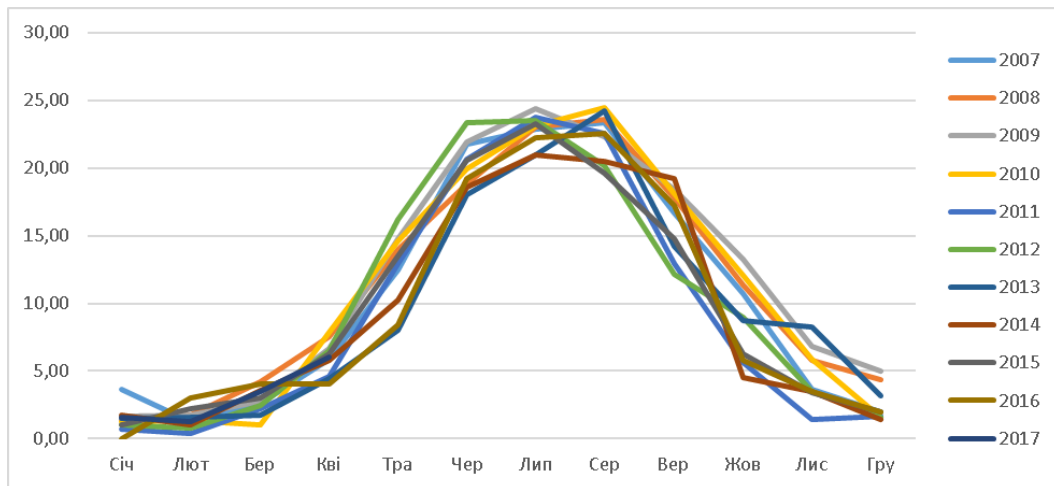


Рисунок 4.5 - Порівняльний розподіл температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

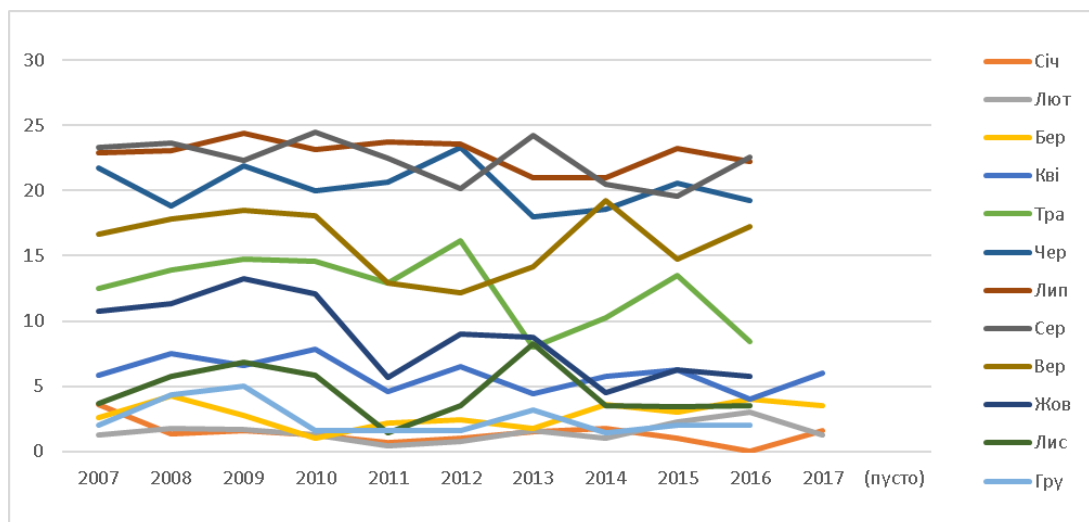


Рисунок 4.6 - Порівняльний розподіл температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Також звертає увагу занижена лінія тренду вересня 2014, 2016 років від серед середньо очікуваних значень у відповідний період.

Результати: Визначено періоди і розподіл сезонної нерівномірності температурного впливу: холодна зима раніше настала у 2010, 2011, 2014 р., рання весна - у 2008, 2012 р., а пізня весна у 2013, 2016 р., спекотне літо - у 2008, 2009, 2010 р. 2012, холодне літо - у 2013, 2014 р., тепла календарна осінь прийшла у 2008, 2009, 2010 р. та холодна майже вдвічі (з різкою зміною) з 2011, 2014-2017 р. Спостерігалася сезонна залежність температури води від температури повітря в точці виміру в межах стандартного відхилення, яка не спричиняла суттєвих коливань температури води, а саме: порівняльний аналіз температури повітря в точці виміру та температури води показав, що температура води при наявності пікового зміщення даних температури навколишнього середовища залишається в доволі стабільній амплітуді середніх значень, що обумовлено наявністю підпитки поверхневих вод джерелами підземного водопостачання в відповідно абсолютним значенням температури притока води. Також це пояснюється тим, що за правилами відбору проб якості води - проба води для аналізу береться на відстані від 3-5 метрів від берегової лінії та заглиблюючись відповідно до глибини водойми на половині глибини водотоку річки або на відстань не меншу за 0,2-0,3 метри від поверхні дзеркала води [2]. Тим самим виключаються природні можливості прогріву чи охолодження води на мілководді чи відстані до метра від поверхні водойми. Результат статистичного аналізу показав збільшений розкид значень показника температури води у травні -2011, 2012, 2014 років, у червні - 2013, 2016 років, у вересні - 2011, 2015, 2016 років, у жовтні - 2016 року. Така варіабельність фактичного показника температури від року в рік у весняно-осінній період, по деякі з послідовністю по два роки поспіль говорить про наявність фактору сезонності.

Не очікувано виявлена відповідність сумісного впливу температури повітря та температури води за одночасним збільшенням стандартного відхилення показників і відповідно наявним фактором, що спричинив розкид

сукупностей даних температур двох середовищ лише в одній точці/площі виміру прослідковується лише в один період, а саме січні 2014 р.

4.2.2.2 Визначення впливу температури води на показники хімічного складу води

Аналіз даних хімічного складу води проводився з використанням стандартних статистичних методів: середні значення, середньоквадратичне відхилення, відносне відхилення, критерій Стюдента для перевірки гіпотези о середніх.

Щоб попередньо оцінити вплив сезону на щомісячні дані показників якості поверхневих вод р. Сіверський Донець у часовому просторі по місяцям впродовж визначеного періоду десяти років з 2007 по 2017 роки побудовано лінійні діаграми часового ряду по кожному параметру контролю за весь період дослідження. Вибірковий перелік діаграм надано на рис. 4.7-4.10.

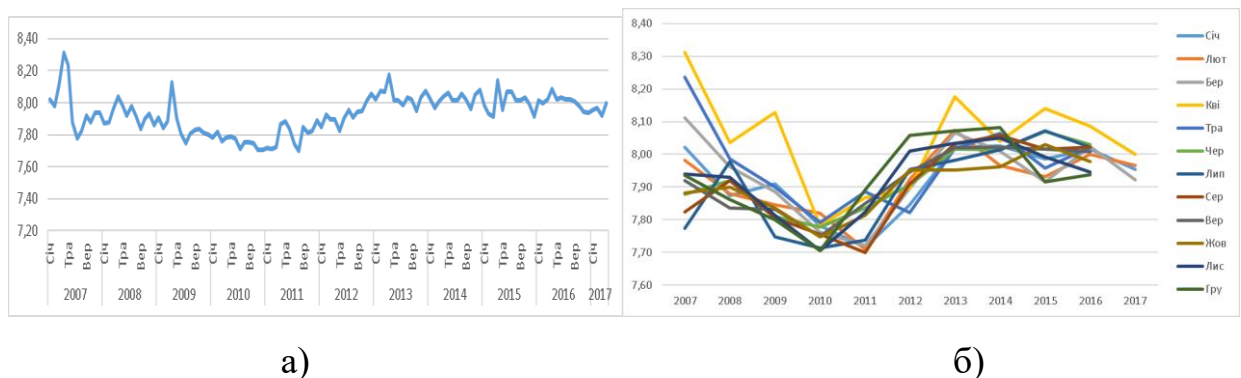


Рисунок 4.7 - Порівняльні графіки розподілу показника контролю рН:

а) динаміка розподілу за період з 2010 року по 2017 рік; б) динаміка розподілу часового ряду показника за місяцями

Впродовж календарного року з лютого по квітень спостерігається тенденція росту показника середнього значення і з травня по вересень його поступове зниження. Після чого з жовтня до січня -знову зріст показника, що свідчить про виражену сезонність показника. Спостерігається загальне зменшення показника у період 2011-2012 років по відношенню до інших періодів десятиліття.

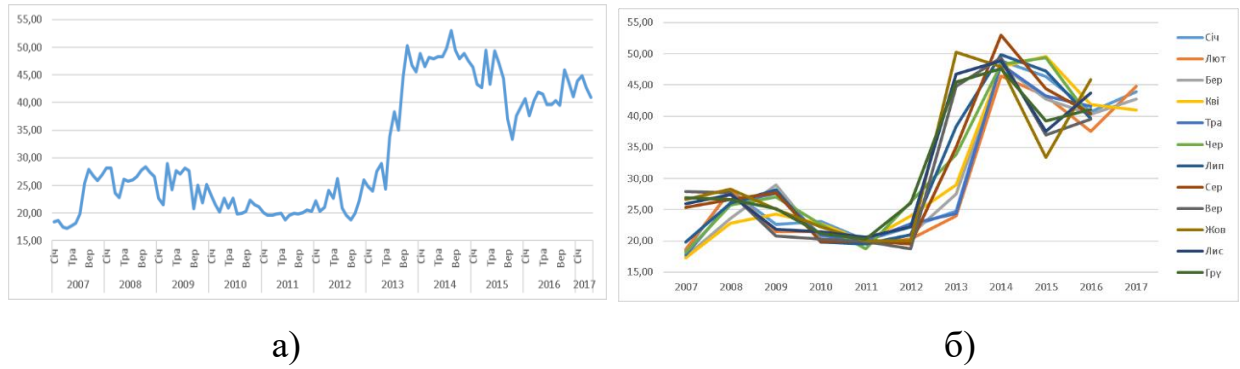


Рисунок 4.8 - Порівняльний графік розподілу показника ХСК: а) динаміка розподілу в період 2007- 2017 рр.; б) динаміка розподілу часового ряду показника за місяцями

Сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл; з початку червня 2013 р. спостерігається різке збільшення вмісту показника до 2015 року, а в 2016 році - динаміка поступового зменшення на одну чверть від середніх максимальних значень, що доки далеко до досягнення рівня 2012 року.

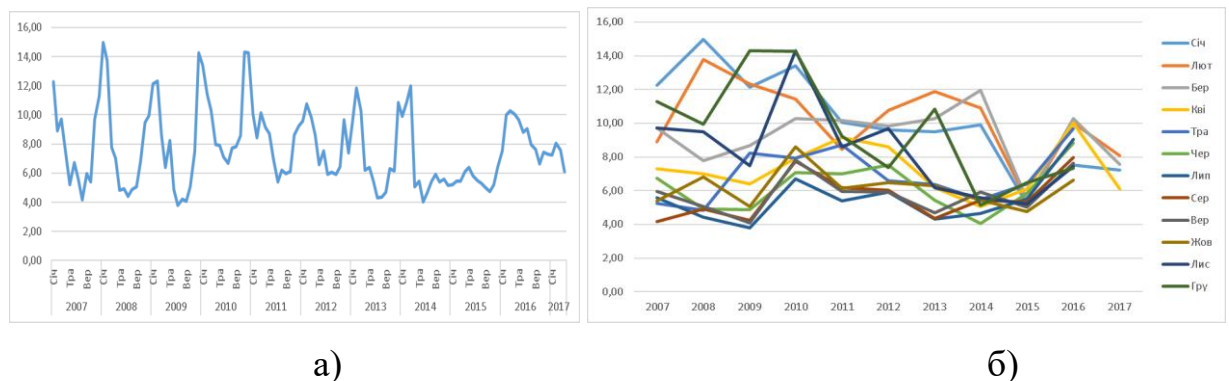


Рисунок 4.9 - Порівняльний графік розподілу показника азоту нітратного:
а) динаміка розподілу в період 2007- 2017 рр.; б) динаміка розподілу часового ряду показника за місяцями

Спостерігається виражена сезонність з 2007-2014 роки, це більш кількісні показники в зимовий період та менші на 40-60% влітку. Виключення - 2015, 2016 р. - суттєве зменшення вмісту і майже лінійна залежність.

Тенденція коливань показника середнього значення з 2011 р. поступове зменшення концентрації показника у зимовий період і водночас збільшення кількості показника у весняно-осінню межень 2014-2015 років.

З лютого 2016 року спостерігається різке загальне збільшення середнього рівня показника.

Наявна чітко виражена сезонність зі зростанням показника від середини березня до серпня включно, а потім поступового зниження від вересня до початку березня. Впродовж досліджуваного часового періоду десяти років спостерігається суттєве зменшення амплітуди коливань меж показника у 2014-2017 роках.

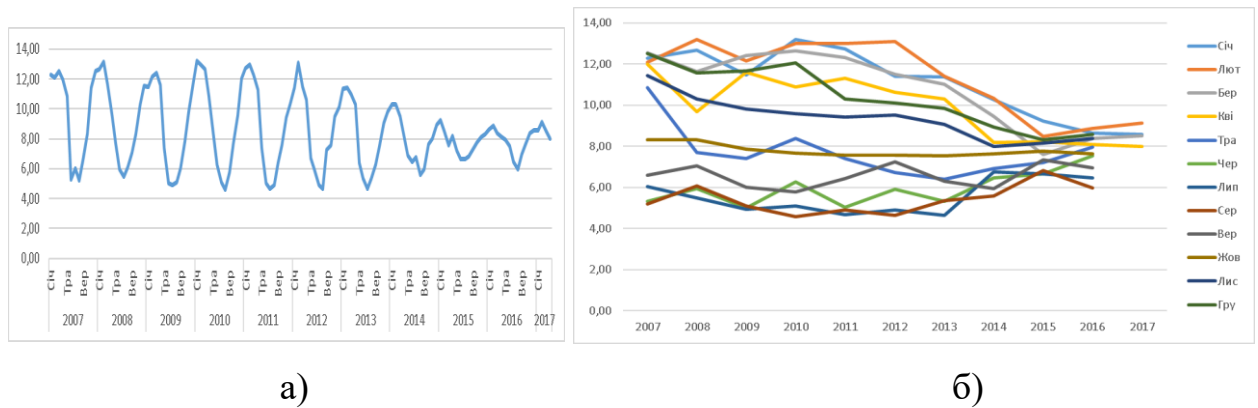


Рисунок 4.10 - Порівняльний графік розподілу показника розчинний кисень:

а) динаміка розподілу в період 2007- 2017 рр.; б) динаміка розподілу часового ряду показника за місяцями

Попередня оцінка впливу сезону на щомісячні дані виміру по іншим показникам якості поверхневих вод р. Сіверський Донець у часовому просторі по місяцям представлена у Додатку В.

Результати: Отримана очікувана наявність коливань значень показників хімічного складу води від її температури, а саме:

- мають чітко виражену сезонність такі показники якості води: азот амонійний, нітрати, нітроти, феноли, фосфати, рН, розчинний кисень;
- сезонність не спостерігається або слабо виражена у таких показників якості води як: поверхнево- активні речовини (аПАР), сульфати, хлориди,

хімічне споживання кисню (ХСК), сухий залишок, біологічне споживання кисню (БСК_{5/п}), завислі речовини, жорсткість (сума іонів магнію та кальцію), прозорість, кольоровість;

Дані спостережень однорідні, мають щільну сукупність у таких показників якості води: азот амонійний, нітрити, а ПАВ, сульфати, хімічне споживання кисню (ХСК), фосфати, біологічне споживання кисню (БСК_{5/п}), завислі речовини, жорсткість (сума іонів магнію та кальцію).

Спостерігається великий розмах сукупності даних/ аномалії у таких показників якості води: нітрати, феноли, хлориди, сухий залишок, рН, прозорість, кольоровість, розчинний кисень.

4.2.2.3 Визначення маркерних показників

Маркерні показники визначалися на основі оцінки статистичних відмінностей між окремими підмножинами даних за допомогою дисперсійного аналізу. Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показників рН, ХПК, розчинного кисню в період з 2007 року по 2017 рік за роками представлено в рис. 4.11 - 4.13.

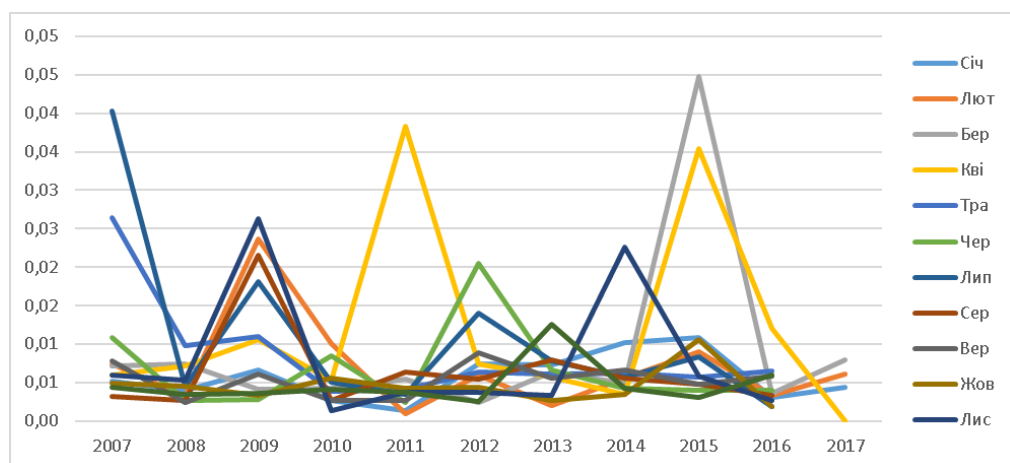


Рисунок 4.11 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за роками

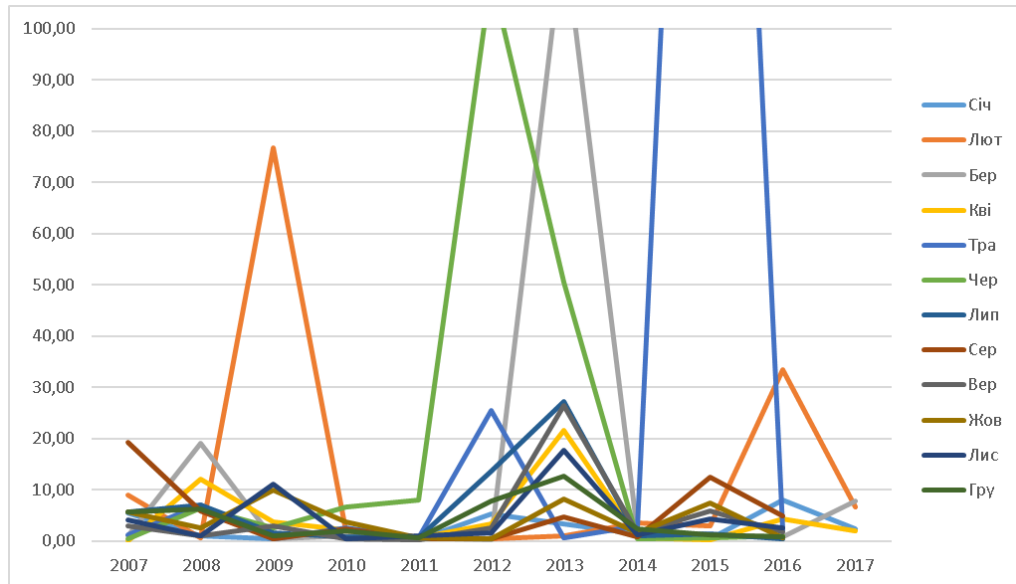


Рисунок 4.12 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника ХСК в період 2007 -2017 р. за роками

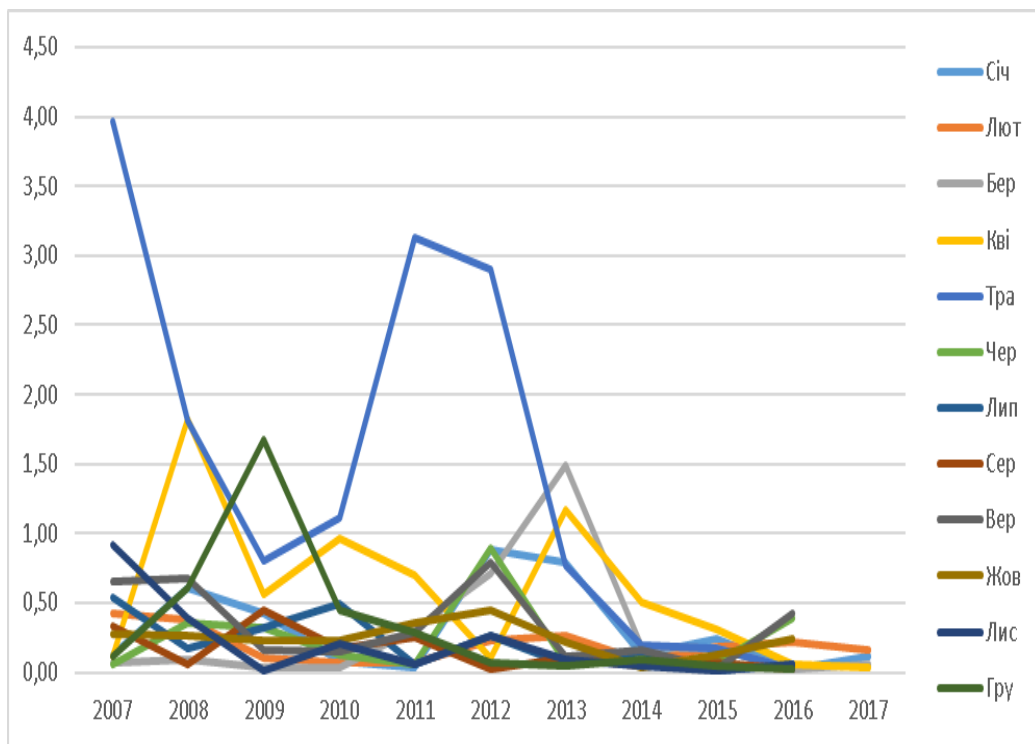


Рисунок 4.13 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника розчинного кисню в період 2007 -2017 р. за роками

Повний перелік попередньої оцінки впливу сезону на щомісячні дані виміру по іншим показникам якості поверхневих вод р. Сіверський Донець у часовому просторі по місяцям представлено у Додатку В.

Результат дисперсійного аналізу показників розчинний кисень, рН, ХПК статистично виявив вплив факторів в межах календарного сезону. А також відповідно підтвердив й засвідчив про наявність неоднорідності коливань в межах весняного сезону року (березень- травень) й подекуди зимового - грудень, влітку - липень, восени - листопад місяць. Цікаво, що для показника сульфат-іонів в воді коливання відрізняються за періодом і це літньо-осіння межень - серпень та вересень; і взимку - лютий місяць.

Результат статистичного аналізу показав збільшений розкид значень и показника середньої температури води у травні -2011, 2012 та трохи менше у 2014 роках, у червні - 2013, 2016 років, у вересні - 2011 років, у жовтні - 2016 року. А у вересні - 2015, 2016 років навпаки не підтвердив випадковий характер значень показника (рис. 4.14).

Результат дисперсійного аналізу температури повітря у період спостережень також підтвердив збільшений розкид значень температурного параметру і відповідно й засвідчив про наявність природніх ризиків і впливів сезонного характеру на фізико-хімічний склад водойми.

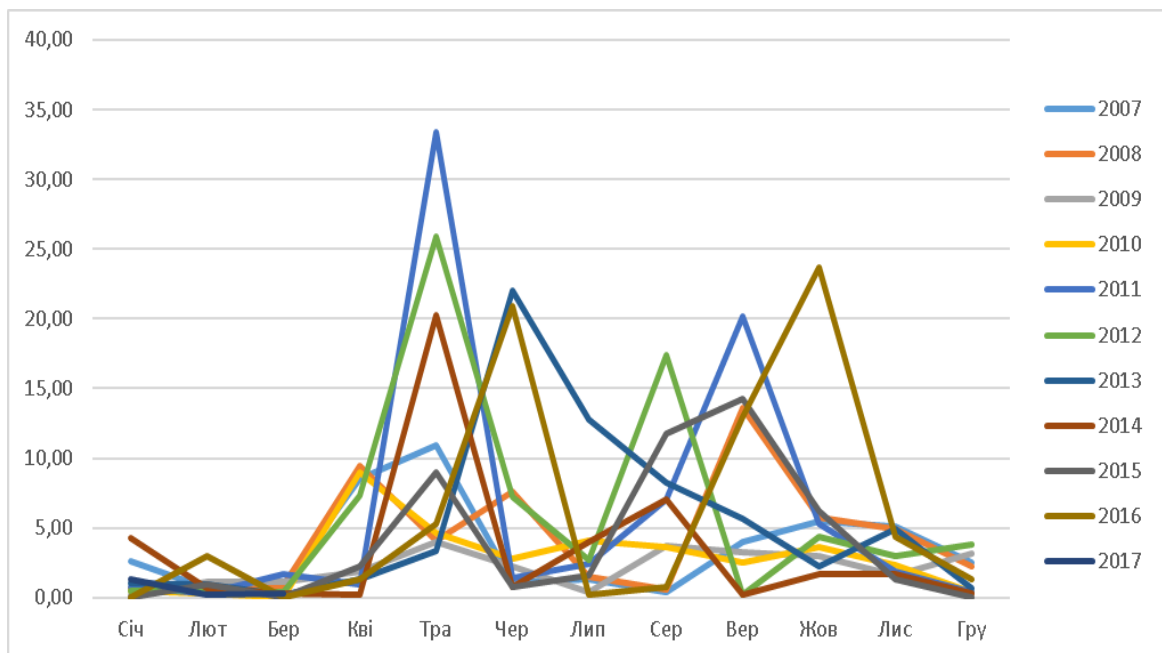


Рисунок 4.14 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

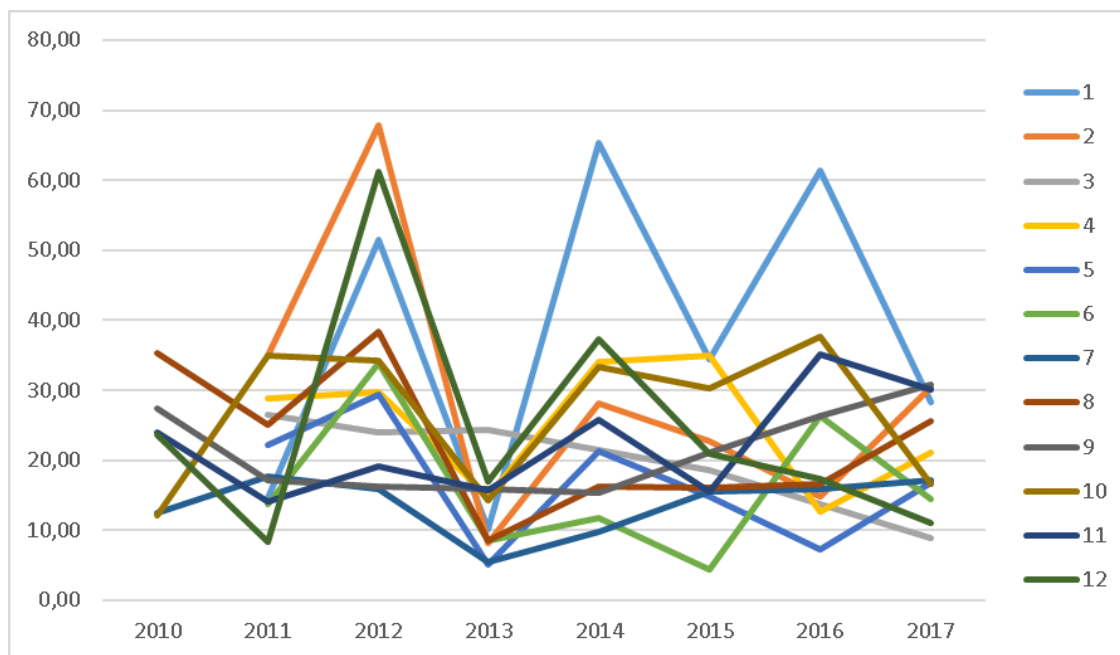


Рисунок 4.15 - Порівняльна діаграма дисперсійного аналізу середньодобової температури повітря з 2010 року по 2017 рік за роками

Проведений дисперсійний аналіз 19 показників якості води визначив наявність природних ризиків сезонного характеру при достатній щільності сукупності даних спостережень у інші місяці. А це потенційно свідчить про вплив природних коливань в межах календарного року і може бути визначений характерними маркерними показниками, що засвідчать загальну тенденцію змін, які відбуваються у водній системі.

Результат: З отриманих результатів обробки масиву даних якісного аналізу поверхневих вод прослідковується багатомірний взаємозв'язок і ймовірно вплив показників: розчинного кисню у воді, показника рН та мінералізації (сухого залишку) на більшість інших показників контролю (з досліджуваних двадцяти). Таким чином підтверджується доцільність використання показника рН, розчинного кисню та мінералізації як маркерних показників [6, 8, 17], які в комплексі динамічно реагують на зміни хімічного стану водного середовища. Т

Показники рН, розчинний кисень, сухий залишок (мінералізація / електропровідність) обрано в якості маркерних. Разом з тим, варто відзначити, що порівняння з місяцями пікових температур не дає чіткого підтвердження

загального впливу сезону на більшість показників якості води і потребує додаткових перевірок.

4.2.2.4 Визначення факторів впливу

Фактор впливу в розрізі цього дослідження визначається як чинник або рушійна сила процесів, що призводять до будь-яких змін характерних умов екологічного стану водойми, і які настають у змінах результатів її фізико - хімічного складу (рис.4.16).



Рисунок 4.16 - Структура визначення фактору впливу змінах результатів її фізико - хімічного складу.

Для визначення факторів впливу проводилася обробка результатів етапів 1-3 за допомогою емпірико-статистичної моделі. Для цього було виконано наступне:

- (1) впорядкування отриманих результатів,
- (2) пошук причинно-наслідкових відносин між змінними, та
- (3) оцінка взаємного впливу між параметрами.

Фактор сезонних (температурних та інш.) коливань. Для визначення фактору сезонних (температурних і інш.) коливань спочатку визначено наявні у досліджуваній вибірці спостереження за десять років періоди коливань температури повітря та температури води в басейні річки за місцем здійснення спостережень.

Комплексний графік залежності розподілу показника ХСК від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями надано на рис.

4.17. Комбінований графічний розподіл температури води та інших показників виміру якості за досліджуваний період представлені у Додатку Г.

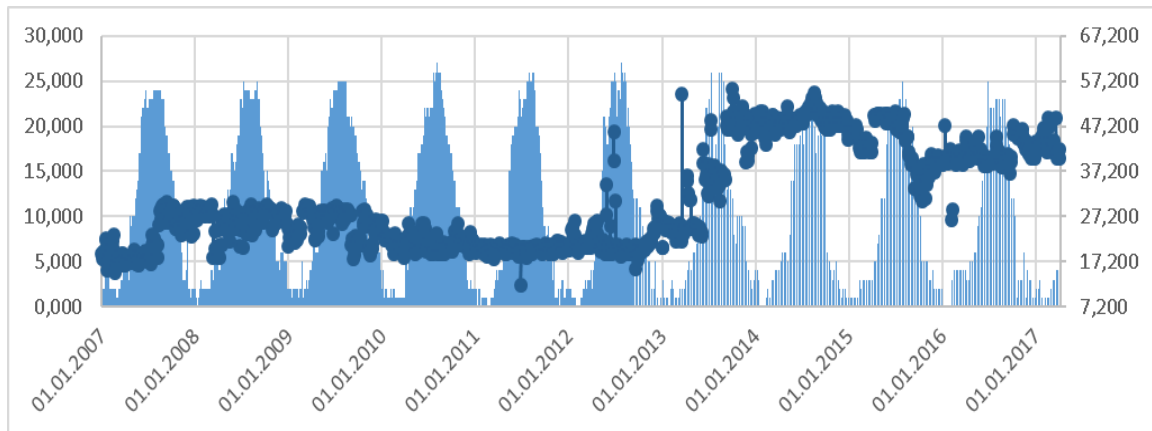


Рисунок 4.17 - Комплексний графік залежності розподілу показника ХСК від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Порівняльні діаграми розподілу температури води та повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями представлено на рис. 4.18.

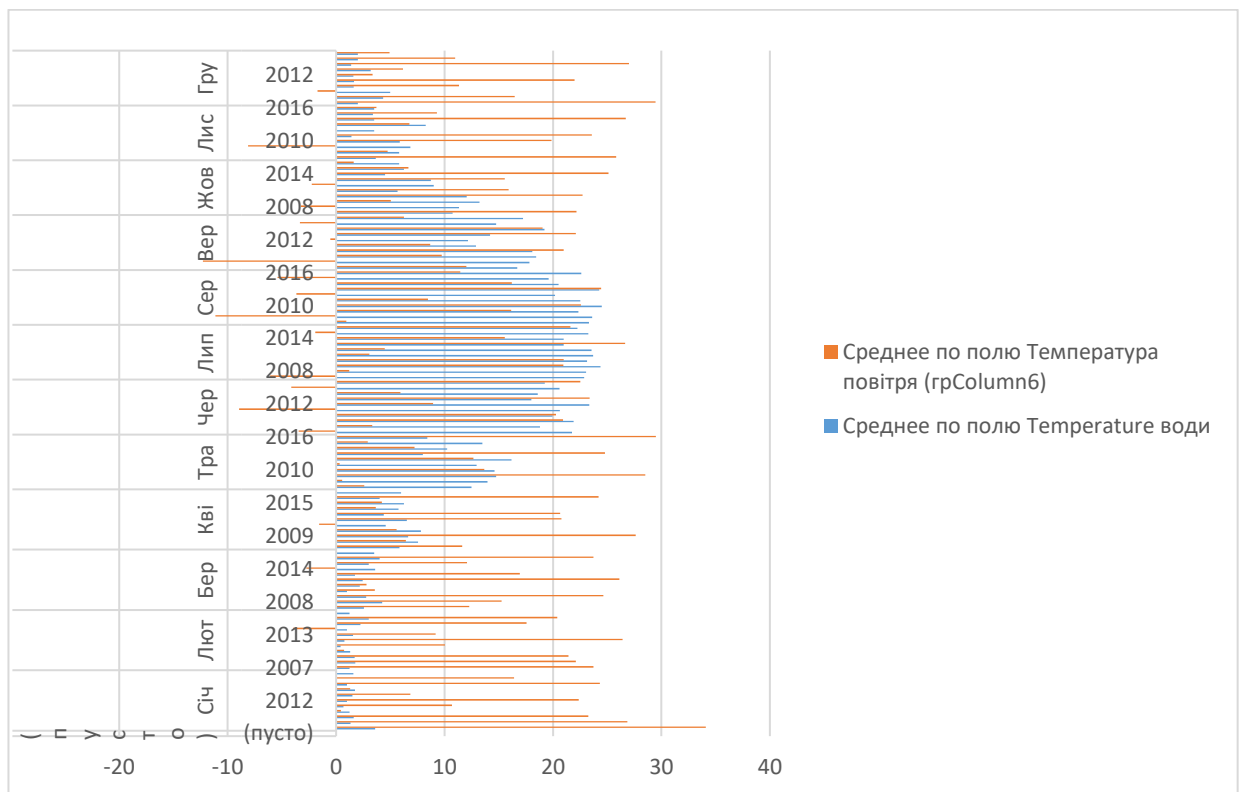


Рисунок 4.18 - Порівняльні діаграми розподілу температури води та повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

Найбільш характерні результати обробки даних масиву показників якості води (температура повітря, температура води, нітрати, сульфати, сухий залишок, БСК_п, рН, розчинний кисень) р. Сіверський Донець в період 2007-2017 рр. за методами описової статистики представлено в табл. 4.2.

Зведені результати обробки даних масиву усіх 19 показників якості води представлені в Додатку Д).

Відповідність сумісного впливу температури повітря та температури води за одночасним збільшенням стандартного відхилення показників і відповідно наявним фактором, що спричинив розкид сукупностей даних температур двох середовищ в одній точці/площі виміру прослідковується лише в один період, а саме січні 2014 р.

Показники мають чітко виражену сезонність такі показники якості води: азот амонійний, нітрати, нітроти, феноли, фосфати, рН, розчинний кисень;

Таблиця 4.2 - Найбільш характерні показники масиву даних якості води в період 2007-2017 рр. за методами описової статистики.

№	Показник виміру	Кількість вимірів	Динаміка часових рядів у порівнянні до середнього значення показника за місяць	Розмах варіації/розкид даних/ однорідність даних (коэф. варіації)
1	2	3	4	5
1.	Температура повітря	2703	- тенденція потепління - збільшення середньо добової температури повітря від заморозків від 2011 року і піку у 2012 року, і знову теплих зим без істотних заморозків у 2014 - 2015 роках; та від найспекотнішого літа 2010, 2011 років до поступового зниження температур у 2013 році, і знову коливання у бік збільшення з 2014 до 2017 років <u>вище ср.:</u> 2016 р. - лютий 4,2/ ср (-2) °С тепліше 2010 р. - липень (33,5/ ср 25,8 °С) 2011 р. - липень (30,3/ ср 25,8 °С) 2010 р.- серпень (33,6/ср 26,7 °С) 2010 р. - листопад - (23,1/ ср 4,9 °С) 2012 р.- грудень - (-4,9)/ср 0 °С і	однорідні, крім 2012 р. - 01 міс. 2014 р. - 01 міс. 2016 р. - 01 міс. 2012 р. - 02 міс. 2012 р. - 06 міс. 2015 р. - 06 міс. 2012 р. - 12 міс.

№	Показник виміру	Кількість вимірів	Динаміка часових рядів у порівнянні до середнього значення показника за місяць	Розмах варіації/розкид даних/ однорідність даних (коэф. варіації)
1	2	3	4	5
			2016 р. - грудень (-3,9)/ ср 0 °С) - раніше прийшла зима за температурними показниками <u>нижче ср.:</u> 2012 р.- лютий - (-11,4)/ ср (-2) °С	
2.	Температура води	1846	- наявні коливання в межах середніх значень <u>вище ср.:</u> 2009 р. - грудень 5,0/ ср 2,74 °С 2007 р. - січень 3,61/ ср 1,63 °С тепліше 2016 р. -лютий 3,0/ ср 1,32 °С <u>нижче ср.:</u> 2011 - вересень 12,91/ ср 16,54 °С 2012 - вересень 12,17/ ср 16,54 °С 2013 р. - травень 8,0/ ср 13,61 °С 2016 р. - травень 8,4/ ср 13,61 °С 2011 р. -жовтень 5,67/ ср 10,06 °С 2016 р. -жовтень 5,8/ ср 10,06 °С 2011 р. - листопад 1,41/ ср 4,57 °С	однорідні, крім: 2014 р. - 01 міс. 2007 р. - 04 міс. 2008 р. - 04 міс. 2010 р. - 04 міс. 2012 р. - 04 міс. 2011 р. - 05 міс. 2013 р. - 06 міс. 2016 р. - 06 міс. 2012 р. - 08 міс. 2011 р. - 09 міс. 2016 р. - 10 міс.
3.	Нітрати	1068	- спостерігається виражена сезонність з 2007-2014 роки, це більш кількісні показники в зимовий період та менші на 40-60% влітку. Виключення - 2015, 2016 р. - суттєве зменшення вмісту і майже лінійна залежність; - тенденція коливань показника середнього значення з 2011 р. поступове зменшення концентрації показника у зимовий період і водночас збільшення кількості показника у весняно-осінню межень 2014-2015 років. З лютого 2016 року спостерігається різке загальне збільшення середнього рівня показника. <u>вище ср.:</u> 2008 р. січень 14,99/ср 10,25 2010 р. листопад 14,31/ ср 8,38 2010 р. грудень 11,27/ ср 9,06 <u>нижче ср.:</u> 2014 р. квітень 5,04/ ср 7,33 2015 р. березень 5,47/ ср 9,26	мала однорідність сукупності, а саме: 2009 р. - 01 міс 2011 р. - 01 міс. 2013 р. - 01 міс. 2009 р. - 02 міс. 2010 р. - 02 міс. 2011 р. - 02 міс. 2016 р. - 02 міс. 2009 р. - 03 міс. 2011 р. - 03 міс. 2010 р. - 04 міс. 2007 р. - 06 міс. 2008 р. - 10 міс. 2007 р. - 11 міс. 2012 р. - 11 міс. 2009 р. - 12 міс.

№	Показник виміру	Кількість вимірів	Динаміка часових рядів у порівнянні до середнього значення показника за місяць	Розмах варіації/розкид даних/ однорідність даних (коэф. варіації)
1	2	3	4	5
4.	Сульфати	542	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл <u>вище ср.:</u> 2012 квітень 404,78/ ср 326,29 2016 серпень 446,28/ ср 337,36 <u>нижче ср.:</u> 2010 р. квітень 234,63/ ср 326,29 2010 р. травень 254,70/ ср 325,49 2010 р. червень 265,80/ ср 316,63 2007 р. вересень 283,75/ ср 323,26	однорідна сукупність, крім: 2007 р. - 11 міс. 2016 р. - 08 міс. 2012 р. - 09 міс. 2016 р. - 09 міс.
5.	Водневий показник рН	2576	- впродовж календарного року з лютого по квітень спостерігається тенденція росту показника середнього значення і з травня по вересень його поступове зниження. Після чого з жовтня до січня -знову зріст показника, що свідчить про виражену сезонність показника. - спостерігається загальне зменшення показника у період 2011-2012 років по відношенню до інших періодів десятиліття <u>вище ср.:</u> 2007 р. квітень - 8,24/ ср 8,05 2013 р. квітень - 8,18/ ср 8,05 2015 р. квітень - 8,14/ ср 8,05 2007 р. травень - 8,24/ ср 7,98 <u>нижче ср.:-</u>	однорідна сукупність, крім: 2009 р. - 02 міс 2010 р. - 02 міс 2015 р. - 03 міс 2011 р. - 04 міс. 2015 р. - 04 міс. 2016 р. - 04 міс. 2007 р. - 05 міс. 2012 р. - 06 міс. 2007 р. - 07 міс. 2009 р. - 07 міс. 2009 р. - 11 міс 2014 р. - 11 міс.
6.	Розчинений кисень	2228	- наявна чітко виражена сезонність зі зростанням показника від середини березня до серпень включно, а потім поступового зниження від вересня до початку березня; - впродовж досліджуваного часового періоду десяти років спостерігається суттєве зменшення амплітуди коливань меж показника у 2014-2017 роках; <u>вище ср.:</u> 2008 р. лютий - 13,19/ср 11,74 2010 р. лютий - 13,00/ср 11,74 2011 р. лютий - 13,00/ср 11,74 2012 р. лютий - 13,10/ ср 11,74 2007 р. травень - 10,85/ ср 8,02	однорідна сукупність, крім: 2012 р. - 01 міс. 2013 р. - 01 міс. 2013 р. - 03 міс. 2008 р. - 04 міс. 2010 р. - 04 міс. 2011 р. - 04 міс. 2013 р. - 04 міс. 2007 р. - 05 міс. 2008 р. - 05 міс. 2010 р. - 05 міс. 2011 р. - 05 міс.

№	Показник виміру	Кількість вимірів	Динаміка часових рядів у порівнянні до середнього значення показника за місяць	Розмах варіації/розкид даних/ однорідність даних (коэф. варіації)
1	2	3	4	5
			2007 р. листопад - 11,45/ ср 9,65 2008 р. листопад 10,31/ ср 9,65 2007 р. грудень - 12,52/ ср 10,81 2008 р. грудень - 11,56/ ср 10,81 2009 р. грудень - 11,67/ ср 10,81 2010 р. грудень - 12,06/ ср 10,81 <u>нижче ср.:</u> 2010 р. серпень - 4,59/ср 5,36 2013 р. серпень - 4,65/ср 5,36	2012 р. - 05 міс. 2013 р. - 05 міс. 2012 р. - 06 міс. 2007 р. - 09 міс. 2008 р. - 09 міс. 2012 р. - 09 міс. 2007 р. - 11 міс. 2009 р. - 12 міс.

Сезонність не спостерігається у таких показників якості води: поверхнево- активні речовини (аПАР), сульфати, хлориди, хімічне споживання кисню (ХСК), сухий залишок, біологічне споживання кисню (БСК_{5/п}), завислі речовини, жорсткість (сума іонів магнію та кальцію), прозорість, кольоровість.

Дані однорідні, мають щільну сукупність у таких показників якості води: азот амонійний, нітроти, а ПАВ, сульфати, хімічне споживання кисню (ХСК), фосфати, біологічне споживання кисню (БСК_{5/п}), завислі речовини, жорсткість (сума іонів магнію та кальцію).

Спостерігається великий розмах сукупності даних/ аномалії у таких показників якості води: нітрати, феноли, хлориди, сухий залишок, рН, прозорість, кольоровість, розчинний кисень.

Визначено наступні періоди граничних меж показників:

- максимальних показників (вище середніх) - 2007, 2008, 2010, 2012, 2013 рр.

- мінімальних показників (нижче середніх) - 2008, 2010, 2013, 2015 рр.

Отримані відповідності одночасного настання великого розкиду даних між:

1) показниками: прозорість та хлориди, рН, сухий залишок, завислі речовини;

2) показниками: водневим показником рН та фосфатами в більшості випадків;

Визначено повторювальний період настання великого розкиду даних вимірів рН за однаковими сезонами/місяцями, а саме:

– взимку - лютий (2009,2010) рр., що підтверджується даними [9, 13]
– навесні - березень (2015), квітень (2011,2015,2016), травень (2007) і це періоди теплішого сезону

– влітку - червень (2012), липень (2007,2009), так само спекотніше літо за інші періоди

– восени - листопад (2009,2014), водночас холодніший період.

Разом з тим, варто відзначити, що подібне порівняння за місяцями пікових температур не дає чіткого підтвердження загального впливу сезону на більшість показників якості води і потребують додаткових перевірок цієї гіпотези.

4) спостерігаються періоди кореляції даних вимірів рН з параметрами якості хімічного складу, таких як: фосфатів відстежується в періоди спекотного літа 2007 р.; з ХСК у лютому 2009 р., нітриту у лютому 2009р., нітрати у лютому 2009 р., залізо у квітні 2011 р., завислі речовини - лютий 2009 р.

5) ймовірні періоди кореляції даних вимірів розчинного кисню спостерігаються з параметрами: хлориди в травні 2010 р., феноли у березні - травні 2013 р.; сульфати у листопаді 2007 р., вересні 2009 р.; ХСК у червні 2012 р., березні 2013 р. (з одночасною зміною і показника кольоровості), нітрати у грудні 2009 р., листопаді 2007 р., січні 2013 р., заліза у січні 2012 р.(з одночасним впливом температури повітря і параметра прозорості води), квітні 2011 р.(зі зміною рН та показника прозорості), сухий залишок (мінералізації) у квітень 2010 р. (з одночасною зміною і показника прозорості), завислих речовин у квітні 2008 р. (з одночасною зміною і показника прозорості і кольоровості), рН у квітні 2011 р., травні 2007 р. (з одночасною

зміною і показника прозорості і кольоровості), червні 2012 р., жорсткість (сума іонів магнію та кальцію) у січні 2013 р..

б) ймовірні періоди кореляції даних вимірів сухого залишку (мінералізації) спостерігаються на:

- азот амонійний у квітні 2010 р. (з впливом зміни температури води і прозорості)

- нітрати у лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН), березні-квітні 2010 р. . (з впливом зміни температури води і прозорості), червень 2007 р.

- нітроти у лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН)

- хлориди у березні і травні 2010 р.

- ХСК у лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і рН)

- завислі речовини у червні 2007 р., лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН)

- розчинний кисень у квітень 2010 р. (з одночасною зміною і показника прозорості)

- показника рН у лютому 2009 р., лютому 2010 р., квітень 2010 р., серпень 2007 р.

- з впливом зміни температури води у жовтні 2016 р.

З отриманих результатів обробки масиву даних якісного аналізу поверхневих вод прослідковується багатомірний взаємозв'язок і ймовірно вплив показників: розчинного кисню у воді, показника рН та мінералізації (сухого залишку) на більшість інших показників контролю (з досліджуваних двадцяти). Таким чином підтверджується доцільність використання показника рН, розчинного кисню та мінералізації як маркерних показників [6, 8, 17], які в комплексі динамічно реагують на зміни хімічного стану водного середовища.

Результати: За результатами статистичного дослідження двадцяти показників виявлено наступні фактори впливу:

- 1) фактор сезонних (температурних і інш.) коливань;

- 2) фактор збільшення/скорочення антропогенного впливу;
- 3) фактор випадкового впливу, спричинений збільшенням похибки визначення показника.

4.2.2.5 Перевірка впливу фактору сезонності на маркерні показники

Для перевірки фактору сезонності використовувався метод описової статистики або діаграми розмаху («ящик з вусами»). В табл. 4.3 - 4.5 надано результати розрахунків основних статистичних показників для рН, розчинного кисню і сухого залишку. Відповідні діаграми надано на рис. 4.19 - 4.21.

Таблиця 4.3 – Статистичні показники для параметру “рН”

<i>Variable</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Minimum</i>	<i>Lower whisker</i>	<i>Q1</i>	<i>Median</i>	<i>Q3</i>	<i>Upper whisker</i>	<i>Maximum</i>
Var1	13	7,9846	7,7739	7,7739	7,8806	7,9400	8,0226	8,1129	8,3133
Var2	13	7,9232	7,8364	7,8364	7,8793	7,9190	7,9619	8,0364	8,0364
Var3	13	7,8593	7,7478	7,7478	7,8091	7,8364	7,8864	7,9091	8,1273
Var4	13	7,7571	7,7043	7,7043	7,7476	7,7563	7,7810	7,8200	7,8200
Var5	13	7,7960	7,7000	7,7000	7,7217	7,8143	7,8500	7,8909	7,8909
Var6	13	7,9260	7,8217	7,8217	7,8955	7,9238	7,9522	8,0091	8,0571
Var7	13	8,0387	7,9522	7,9522	8,0174	8,0318	8,0667	8,0750	8,1773
Var8	13	8,0255	7,9609	7,9609	8,0130	8,0257	8,0500	8,0826	8,0826
Var9	13	8,0033	7,9154	7,9154	7,9571	8,0042	8,0308	8,1400	8,1400
Var10	13	8,0074	7,9385	7,9769	8,0000	8,0154	8,0214	8,0308	8,0857
Var11	5	7,9581	7,9214	7,9488	7,9488	7,9538	7,9667	7,9667	8,0000

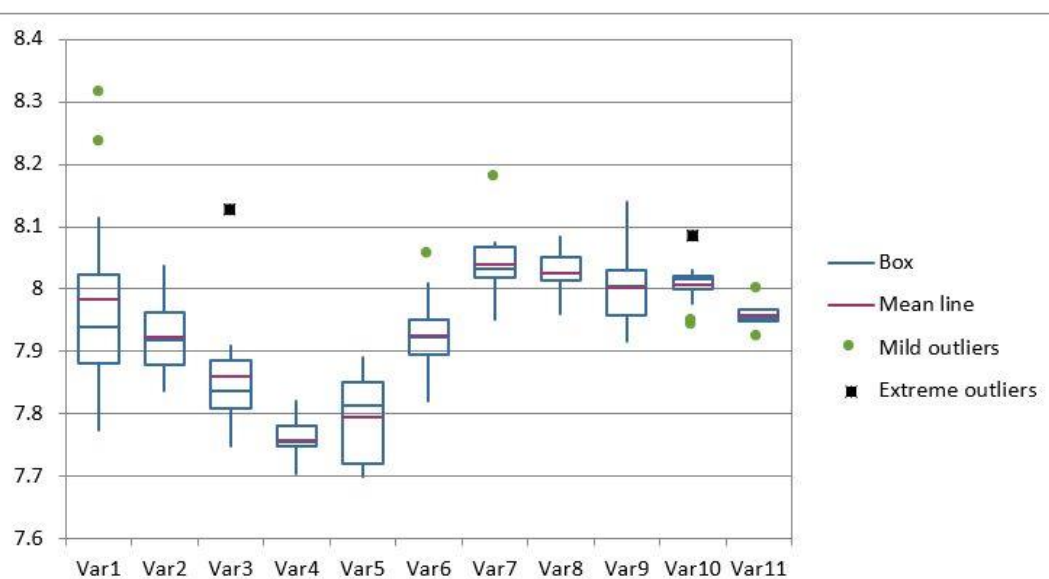


Рисунок 4.19 - Діаграма розмаху рН

Таблиця 4.4 - Статистичні показники для параметру “розчинний кисень”

Variable	Count	Mean	Minimum	Lower whisker	Q1	Median	Q3	Upper whisker	Maximum
Var1	13	9,6023	5,2032	5,2032	6,6033	10,8452	12,1036	12,5387	12,5387
Var2	13	9,1585	5,4978	5,4978	7,0545	9,3564	11,5609	13,1862	13,1862
Var3	13	8,7883	4,9257	4,9257	6,0182	8,7753	11,6136	12,4273	12,4273
Var4	13	9,0963	4,5909	4,5909	6,2641	9,0847	12,0613	13,2095	13,2095
Var5	13	8,7532	4,6710	4,6710	6,4305	8,6481	11,3143	12,9970	12,9970
Var6	13	8,6057	4,6538	4,6538	6,7357	8,5787	10,6462	13,0992	13,0992
Var7	13	8,2126	4,6573	4,6573	6,2923	8,2007	10,3071	11,4000	11,4000
Var8	13	7,8744	5,5750	5,5750	6,7429	7,8749	8,9467	10,3250	10,3250
Var9	13	7,7058	6,6538	6,6538	7,2000	7,6865	8,2083	9,2250	9,2250
Var10	13	7,7900	5,9667	6,4583	7,5308	7,9714	8,3857	8,8692	8,8692
Var11	5	8,5808	8,0000	8,5231	8,5231	8,5714	8,6762	8,6762	9,1333

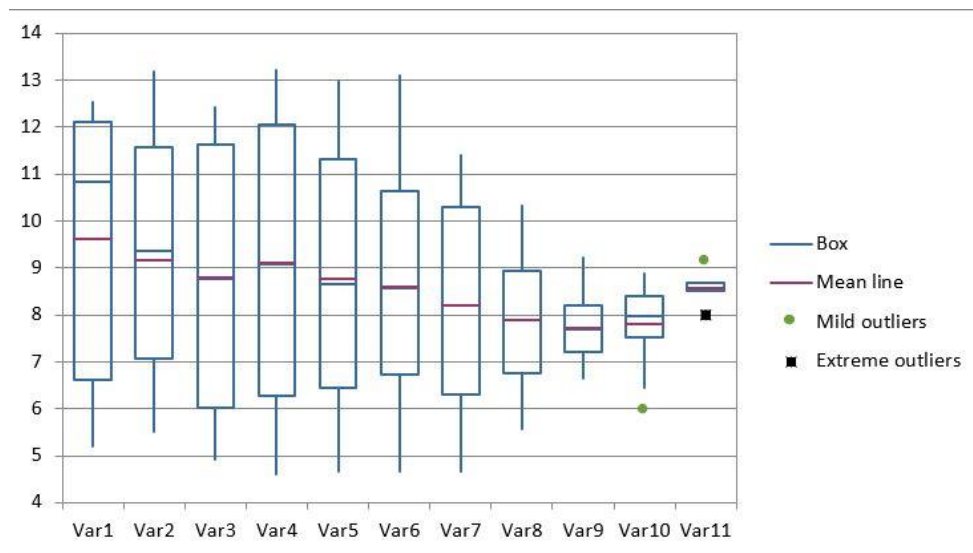


Рисунок 4.20 – Діаграма розмаху для параметру “розчинний кисень”

Таблиця 4.5 - Статистичні показники для параметру “сухий залишок” (мінералізація)

Variable	Count	Mean	Minimum	Lower whisker	Q1	Median	Q3	Upper whisker	Maximum
Var1	12,00	1080,96	1025,00	1025,00	1045,69	1084,36	1102,94	1162,00	1162,00
Var2	12,00	1078,77	957,25	957,25	1024,35	1093,88	1136,39	1170,00	1170,00
Var3	12,00	1126,82	1013,60	1031,50	1109,44	1146,60	1171,29	1188,80	1188,80
Var4	12,00	1082,87	948,75	948,75	1053,88	1101,22	1128,69	1135,50	1135,50
Var5	12,00	1130,23	1037,50	1101,40	1106,63	1124,19	1146,81	1195,50	1215,25
Var6	12,00	1137,52	1014,00	1014,00	1091,63	1137,71	1172,81	1256,75	1256,75
Var7	12,00	1084,61	885,61	1021,40	1032,94	1081,07	1120,01	1247,25	1247,25
Var8	12,00	1133,87	1087,40	1087,40	1121,25	1133,85	1146,55	1175,50	1175,50
Var9	12,00	1106,22	952,20	984,25	1080,87	1153,48	1160,00	1170,60	1170,60
Var10	12,00	1176,80	1034,20	1034,20	1121,48	1153,84	1193,48	1226,40	1446,80
Var11	4,00	1140,49	1125,00	1125,00	1132,31	1142,88	1151,05	1151,21	1151,21

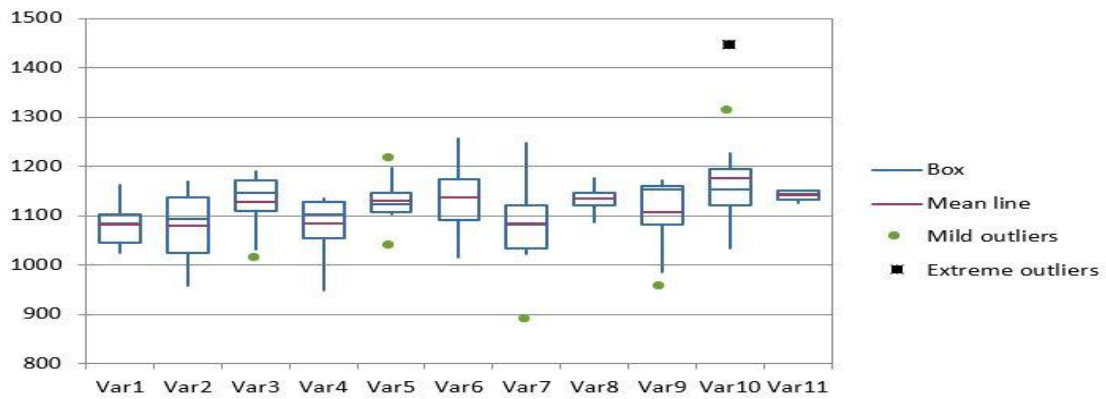


Рисунок 4.21 - Діаграма розмаху параметру “сухий залишок”
(мінералізація)

Результати: Підтверджено вплив сезонного фактору на відібрані маркерні параметри якості поверхневих вод - рН, розчинних кисень, що надають наявну оцінку часовим варіаціям і розкиду даних в кожному році.

Частково відокремлені сезонні зміни від антропогенних факторів впливу починаючи з січня 2014 р. та впродовж 2015 р.-2016 р.

4.2.2.6 Відображення календарної сезонності та визначити залежності між двома факторами впливу

Відображення календарної сезонності та визначення тісноти лінійної залежності між двома факторами впливу проводилося за допомогою методу кореляційного аналізу за функцій автокореляції. Таблиця 4.6 демонструє витяг автокореляційної функції для показників якості води з прийнятим довірчим інтервалом 95% (в межах нормально розподілених величин).

Таблиця 4.6 - Витяг автокореляційної функції для показника якості - температури води на інтервалі 12 місяців

Autocorrelation						
<i>Overall mean</i>		2 011,6774				
<i>Variance</i>		8,9282				
<i>Partial R Standard Error</i>		0,0898				
Lag	Correlation	LCL	UCL	Standard Error	Partial R	Box-Ljung Q
1	0,4944	0,4585	0,5286	0,0898	0,4944	31,0450
2	0,0926	0,0465	0,1383	0,1096	-0,2009	32,1434
3	-0,2044	-0,2483	-0,1595	0,1102	-0,2207	37,5361
4	-0,3957	-0,4340	-0,3559	0,1132	-0,2433	57,9181
5	-0,4804	-0,5152	-0,4439	0,1239	-0,2676	88,2143

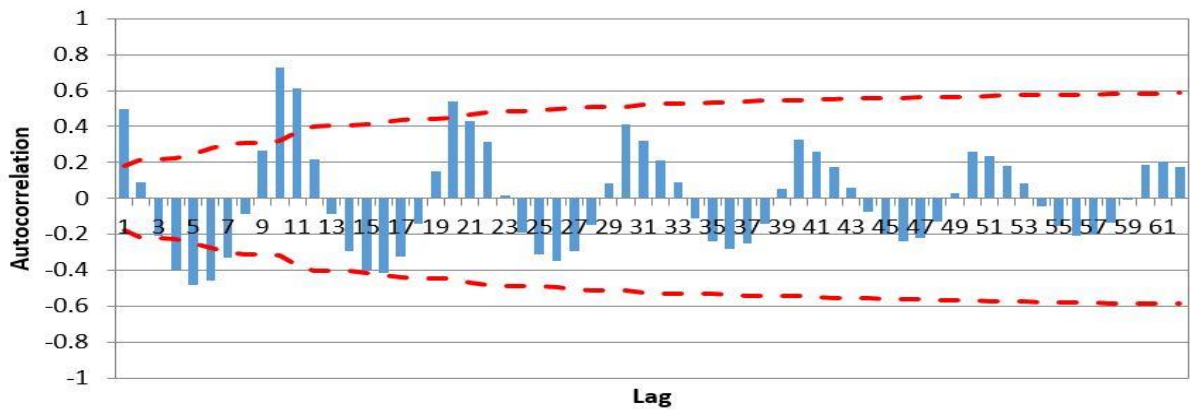


Рисунок 4.22 - Функція автокореляції (з обмеженням значущості) для показника “температура води” на інтервалі 12 місяців

Для виключення помилкової кореляції, яка може бути обумовлена великою кількістю значень вибірки, розглянуто часткову кореляцію.

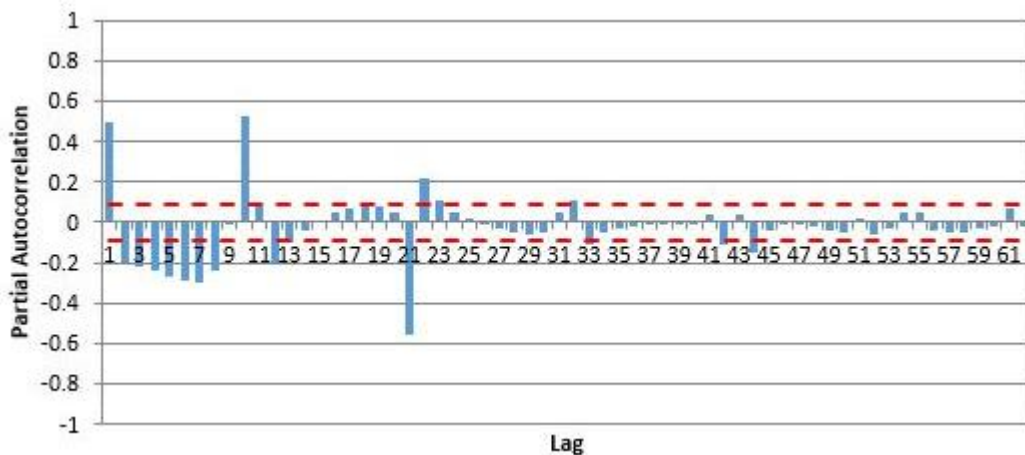


Рисунок 4.23 - Функція часткової кореляції (з обмеженням значущості) для показника “температура води” на інтервалі 12 місяців

Результати: У визначених для дослідження маркерних показників спостерігається лінійна форма кореляційного зв'язку між варійованими показниками значень, з встановленими прямими й зворотними напрямками (т.к. отримані позитивні й негативні значення). «Достатньо сильний» ймовірний зв'язок значень після проведення розрахунків коефіцієнтів кореляції в діапазоні від -1 до +1 та критеріїв відбору кореляцій (0,7-1,0) за рівнем статистичної значущості (від 0,1 до 0,1) визначений у показників - розчинний кисень та рН, а от показник сухого залишку (мінералізації) показав слабку кореляцію даних. Для подальшого визначення ступеню (сили/ тісноти)

взаємозв'язку між двома ознаками відносно один одного була визначена часткова кореляція, яка не враховує вплив третьої змінної (фактору). Отримані результати показника часткової кореляції мають значення менші простої автокореляції, але більші 0, тобто впливаючий третій фактор частково пояснює кореляцію між двома змінними.

4.2.2.7 Корегування даних, з урахуванням сезонності та факторів впливу

Корегування даних з урахуванням сезонності та факторів впливу проводилося за допомогою аналізу часових рядів. За результатами кореляційного аналізу показників рН і розчинний кисень періодично спостерігаються викиди за межі значущості, що може свідчити про наявні додаткові впливи, що не пов'язані з сезонним зв'язком значень, а мають аномальні чи випадкові чинники.

В даному випадку встановлення ознаки сезонної кореляції показників розчинного кисню та рН, ще не визначають остаточно причинно - наслідкові відношення (відношення послідовності між причиною і наслідками), а просто визначають, що дві змінні пов'язані між собою в більшому ступені, ніж це можливо очікувати при випадковому збігу. Тобто поки не стверджується остаточно, що змінна сезону є причиною змін досліджуваного параметру.

Висновки до розділу 4

Побудована модель за методом ковзаних середніх для розчинного кисню спостерігається повна відповідність прогнозу настання поодиноких викидів/сплесків показника рН з фактичними, але значення прогнозу досягає тільки половини фактичних значень. Спостерігається відповідність очікуваних значень до фактичних показників розчинного кисню, але значення прогнозу більш сглажене і не має різких сплесків.

Побудована модель за методом ковзаних середніх для показника сухий залишок: періоди фактичних коливань показника сухого залишку (мінералізації) не співпадають з коливаннями показників рН та розчинний кисень, що пояснюється відсутністю впливу показника мінералізації на ці показники. Спостерігається відповідність очікуваних значень до фактичних показників сухого залишку (мінералізації), але значення прогнозу більш сглажене і не має невелике зміщення в точках сплесків значень у правий бік. Таким чином, повторюваність періодів коливань значень, які не є випадковими, визначає природу сезонності коливань для показників рН та розчинний кисень.

Побудована модель за методом регресійного аналізу для показника рН: результат аналізу лінійної регресії відображає наявність взаємозв'язку між значенням показника рН та температурою води, залишки мають нормальний розподіл та відповідають вигляду шуму, значення F відображає результати середньоквадратичного значення регресії та середньоквадратичного значення залишків і говорить про наявність великої статистичної значущості регресії, що підтверджується показником значущості p-value. Середня абсолютна процентна похибка менше 3% і дорівнює 1,4476%, що вказує на малу різницю між реальних та прогнозних значень.

Побудована модель за методом регресійного аналізу для сухий залишок: модель регресії показує не великий взаємозв'язок між залежною змінною значень показника сухого залишку та температурою про, що свідчить показник F-розподілу, що підтверджується показником значущості p-value. Середня абсолютна процентна похибка більше 3% і дорівнює 4,9553%, що вказує на різницю реальних та прогнозних значень.

Побудована модель за методом Хольта - Вінтерса: порівняльний аналіз ковзаного середнього та трьох параметричного прогнозу Холтера -Вінтера має вид зміщеного тренду та відображає зміну характеру тренду з 2014 року, що в наступних пунктах дослідження буде детальніше досліджено. Отримані моделі прогнозу потребують змін підходів моделювання для досягнення більшої відповідності реальним (історичним) значенням.

Результати розділу опубліковано в роботах автора [2, 4, 9, 10, 15, (Додаток А)]

Література до розділу 4

1. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Модели Бокса-Дженкинса (ARIMA). *Эконометрика. Начальный курс: учебник*. 7-е изд., испр. М.: Дело, 2005. С.253-275.
2. КНД 211.1.1.106 –2003 Керівний нормативний документ « Організація та здійснення спостережень За забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). Розробники Білогуров В.П., канд. техн. наук, Бакланова В.Ю, Діяконова С.О. Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем Мінекоресурсів, К., 2003. Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/klassifikator-po-vidam-dokumentov/knd_\(rukovodyashchiy_738/211.1.1.106-2003+52214-detail.html](http://online.budstandart.com/ru/catalog/klassifikator-po-vidam-dokumentov/knd_(rukovodyashchiy_738/211.1.1.106-2003+52214-detail.html)
3. Ханк Д.Э., Уичерн Д.У., Райтс А. Дж. Метод Бокса-Дженкинса (ARIMA). *Бизнес-прогнозирование*, 7-е издание.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. С.453-544.
4. Coskun H. (2020) Static ecological system measures. *Theor Ecology*, vol. 13, pp. 53–78. <https://doi.org/10.1007/s12080-019-0422-7>
5. Engle R. GARCH 101: The use of ARCH/GARCH models in Applied Econometrics//*Journal of Economic Perspectives*. 2001. Vol.15. P. 157-186.
6. Fan-Lun C., Bo-Chieh Y., Shu-Yi P., Tzu-Chi L. (2020) Applying a deployment strategy and data analysis model for water quality continuous monitoring and management, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 16(6):155014772092982. DOI: 10.1177/1550147720929825.
7. Gardner S.E, Jr (1985) Exponential Smoothing: The state of the Art. *Journal of Forecasting*. Vol. 4, pp. 1-28.
8. Guerreiro M.S., Isabel Abreu, Isabel Abreu, Álvaro Monteiro, Ana M. Fonseca Considerations on the monitoring of water quality in urban streams: a case

study in Portugal, May 2020, *Environmental Monitoring and Assessment* 192(6). DOI: 10.1007/s10661-020-8245-y.

9. Jaskulski M., Jaskulski M., Ziemińska-Stolarska A., Ziemińska-Stolarska A., Zbicinski I., Zbicinski I. (2018) Show Surface water quality monitoring in a large dam reservoir, Poland February 2018. DOI: 10.5004/dwt.2018.21696.

10. Kalekar P.S. Time series forecasting using Holt-Winters exponential smoothing. *Kanwal Rekhi School of Information Technology*. Режим доступа http://www.it.iitb.ac.in/~praj/acads/seminar/04329008_ExponentialSmoothing.pdf (26.05.2020).

11. Kleinbaum D.G., Kupper L.L., Muller K.E. (1988) *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. 2nd ed. Boston, Mass: PWS-Kent Publishing.

12. Makridakis, S., Wheelwright, S. C., Hyndman, R. J. (1997) *Forecasting Methods and Applications*. Third Ed. John Wiley & Sons, 656 p.

13. Moradi E. (2018) The Concentrations of Heavy Metals in Surface Water of Aharchai River giardia and school success of children in Ardebil, September, 2018.

14. Perrelli R. Introduction to ARCH&GARCH models. Univeristy of Illinois. Режим доступа: <http://www.econ.uiuc.edu/~econ472/ARCH.pdf> (20.10.2020).

15. Reider R. Volatility Forecasting I: GARCH Models. *New York University Courant Institute of Mathematical Sciences*. Режим доступа: http://cims.nyu.edu/~almgren/timeseries/Vol_Forecast1.pdf (21.10.2020).

16. Ruppert D. GARCH Models. *Statistics and Data Analysis for Financial Engeneering*: University of Washington. Режим доступа: <http://faculty.washington.edu/ezivot/econ589/ch18-garch.pdf> (20.10.2020).

17. Singh G., Patel N., Jindal T., Bhowmik A. (2020) Assessment of spatial and temporal variations in water quality by the application of multivariate statistical methods in the Kali River, Uttar Pradesh, India, May 2020, *Environmental Monitoring and Assessment* 192(6). DOI: 10.1007/s10661-020-08307-0.

18. Yang G., Moyer D.L. (2020) Estimation of nonlinear water-quality trends in high-frequency monitoring data. *Sci Total Environ*. 2020 May 1;715:136686. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136686.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ОСНОВІ ІОТ

У розділі представлено концептуальну основу для розробки системи моніторингу води в режимі реального часу на основі технології ІоТ. Обговорюються процес, стратегія та передумови для реального застосування технології ІоТ у постійному моніторингу якості води. Наведено результати реалізації технічної стратегії ІоТ на прикладі системи SmartWater.

5.1 Стратегії проектування системи моніторингу якості поверхневих вод на основі ІоТ

Як зазначається в [20], інновації в галузі ІоТ надають великі можливості, однак їх реалізація все ще є складною. Тому необхідна інженерна методологія проектування ІоТ, особливо для експертів предметних областей, що не стосуються інформаційних та комунікаційних технологій. У дисертаційній роботі на прикладі системи моніторингу якості поверхневих вод пропонується конкретний метод проектування інновацій ІоТ заснований на графах SCAI [21] та методології mashup (змішування) [19]. Граф SCAI визначає структуру проекту для створення базової конфігурації ІоТ системи, починаючи з ціннісної пропозиції. Змішування даних – це технологія, яка поєднує інформацію з декількох джерел в єдину ІоТ систему або веб-програму.

5.1.1 SCAI-граф і основні фази технічної стратегії ІоТ системи моніторингу поверхневих вод

SCAI [20, 21] складається з чотирьох шарів, беручи аббревіатуру з Sensing (Зондування), Connection (З'єднання) та Analytics and Intelligent Processing (Аналітика та інтелектуальна обробка) кожного шару.

I. Зондування визначає шар збору необроблених даних за допомогою датчиків та інших джерел отримання інформації.

II. Підключення інтегрує зібрані вихідні дані від джерел даних.

III. Аналітика та інтелектуальна обробка визначає засоби і технології аналізу та обробки інформації для створення ціннісної пропозиції.

IV. Ціннісна пропозиція визначається бізнес-моделлю IoT проекту.

Враховуючи швидкість та кількість даних, створюваних IoT системою, значної уваги потребує аналітична цінність інформації, отриманої від системи шляхом побудови моделей на базі статистичного аналізу або машинного навчання з використанням великої кількості даних, зібраних за допомогою IoT. Звертаючи увагу на чотири базових шари SCAI, основу інформаційної системи моніторингу якості поверхневих вод, що використовує IoT візуалізовано на рис. 5.1.

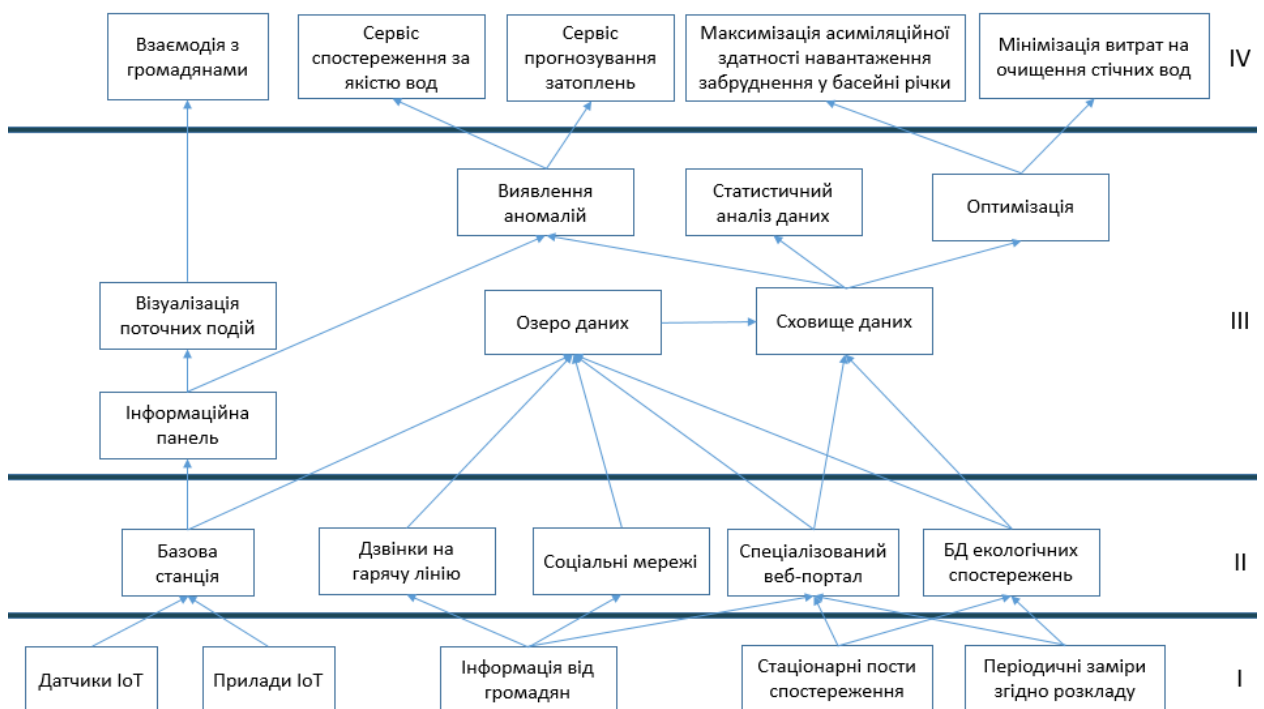


Рисунок 5.1 – SCAI-граф IoT системи моніторингу поверхневих вод

Процес розробки та впровадження системи є послідовністю пов'язаних заходів, починаючи з фази визначення проекту, де розглядаються цілі та

інформаційні потреби, і закінчуючи розповсюдженням інформаційного продукту для використання громадами, науковцями та особами, що приймають рішення. Структура технічної програми проектування IoT системи містить такі елементи (рис. 5.2) [17]:

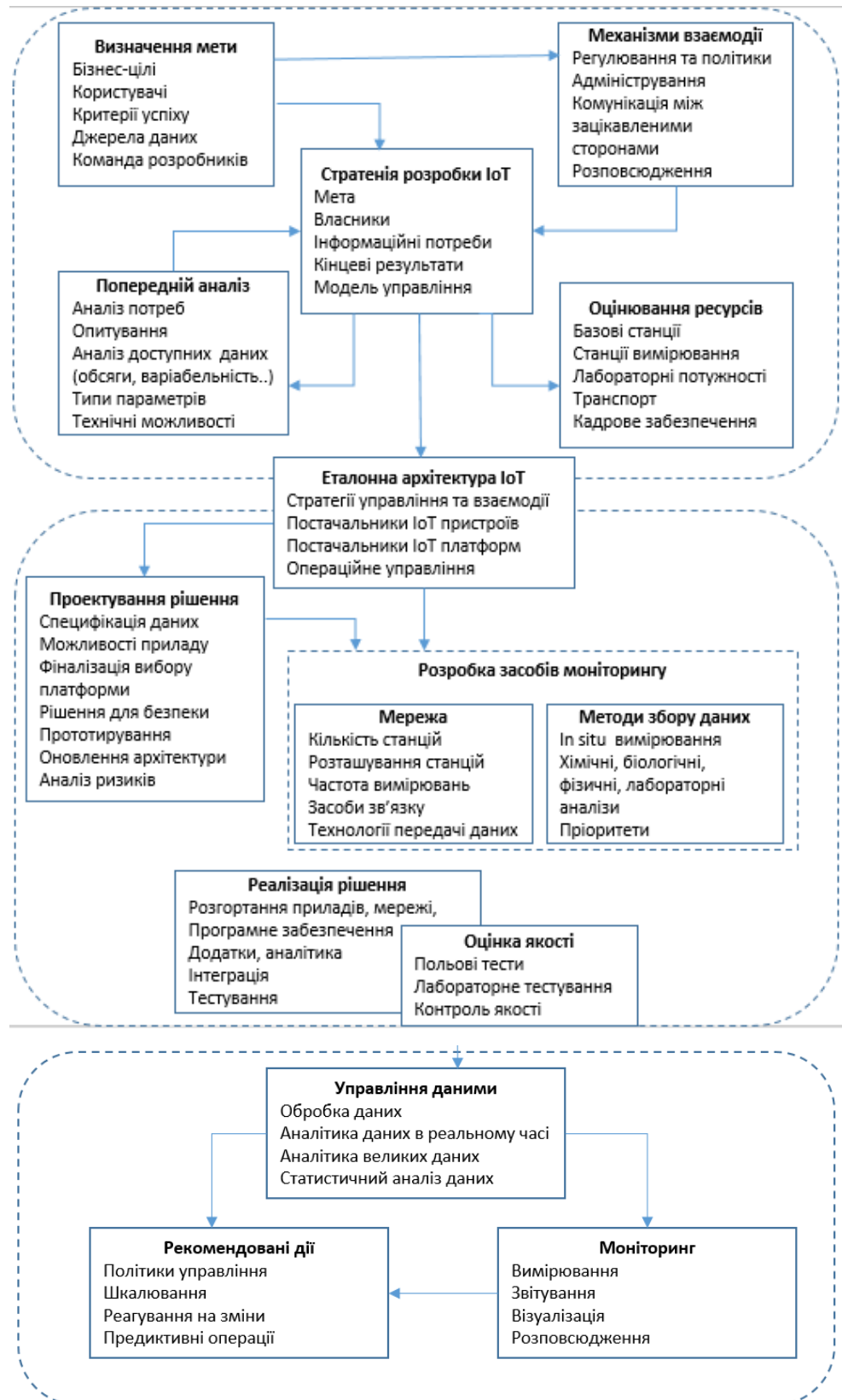


Рисунок 5.2 – Фази та результати реалізації технічної стратегії IoT

- визначення цілей, тип вод, охоплення;
- користувачі, попередні опитування та оцінка ресурсів, переваг, недоліків, оцінка ризиків;
- стратегія видобування даних за допомогою IoT;
- вибір еталонної архітектури IoT;
- проектування рішень для збору, передачі, обробки даних;
- проектування системи моніторингу;
- впровадження системи;
- процедури забезпечення якості;
- управління даними та розробка продукту.

Процес проектування умовно розділено на наступні фази (рис.5.3).

Фаза 1: «Визначення проекту» включає визначення потреб та встановлення цілей IoT. Потім визначається стратегія рішення IoT, еталонна архітектура IoT та технологічні платформи. Базова архітектура IoT забезпечує набір архітектурних зразків, стандартів та найкращих практик для використання при розробці рішень IoT [7].

Детальна архітектура може бути створена лише після отримання чіткого розуміння екосистеми IoT-рішень.

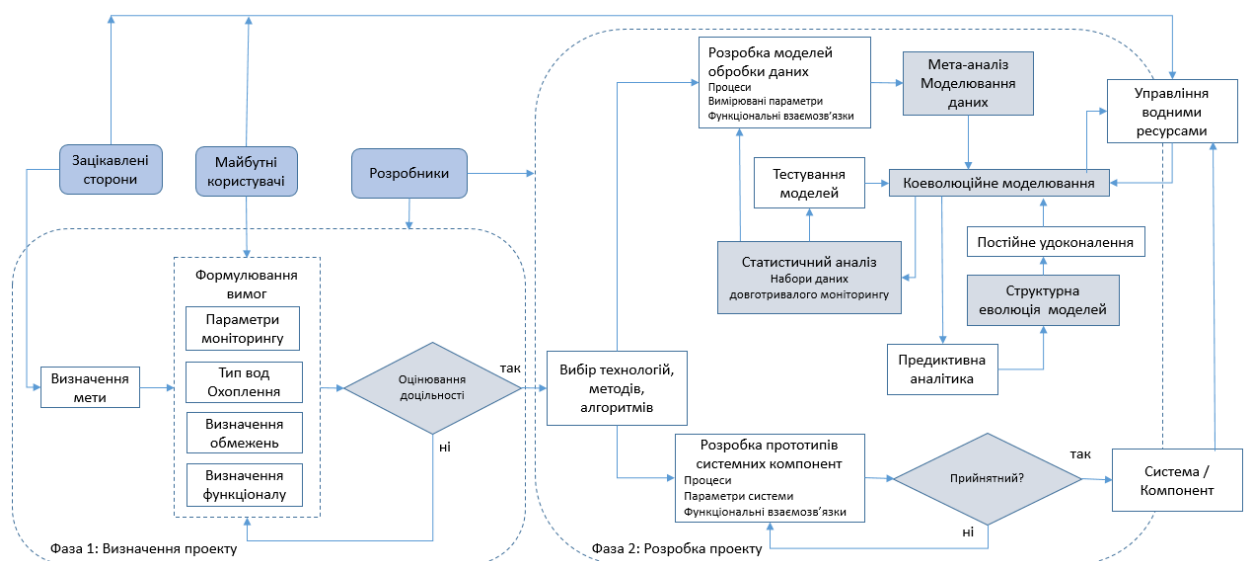


Рисунок 5.3 – Блок-схема запропонованої методології проектування

Фаза 2: «Розробка проекту» складається з послідовності кроків розвитку проекту починаючи з найважливіших задач, і повинен враховувати та включати:

- Проектування IoT рішення із специфікацією даних, визначенням можливостей кожного використовуваного пристрою, прототипуванням, доопрацюванням платформи та аналізом ризиків;
- Планування мережі моніторингу з вибором місця проведення операцій з відбору проб, підкріплене попередніми дослідженнями (кадастрами та обстеженнями), необхідними перед початком програми, з тим щоб проблеми, проблеми та фактори ризику могли бути чітко визначені та оцінені;
- Вибір фізичних, хімічних або біологічних змінних, тобто яких змінних слід контролювати для різних цілей та стосовно різних джерел даних;
- Визначення процедур та операцій з відбору проб, таких як вимірювання на місцях за допомогою різних приладів, ручні або автоматизовані вимірювання, для відбору проб відповідних середовищ, попередньої обробки та збереження зразків, ідентифікації та відвантаження;
- Планування польових вимірювань;
- Визначення ресурсів, необхідних для реалізації програми IoT, напр. наявні національні об'єкти, інвентаризація польових станцій, обладнання та приладів, транспортних засобів та інших транспортних засобів, офісний та виїзний персонал, що бере участь у складних заходах IoT, необхідний розвиток людських ресурсів та навчання, внутрішні та зовнішні комунікаційні потреби і, нарешті, орієнтовні витрати програми.

Фаза 3: «Впровадження проекту» включає фактичні операції (реалізацію) програми зі:

- Створення системи забезпечення якості на стратегічному / організаційному, тактичному та оперативному рівнях, що має важливе значення для забезпечення надійності інформації, отриманої за допомогою моніторингу, що охоплює польовий та лабораторний аналіз, управління даними, обробку даних, у реальному часі та майже реальному аналіз часу та застосування стандартів та індексів IoT;

– Створення політик управління та впровадження надійних операцій та розробки продуктів, що веде до звітування та розповсюдження результатів та висновків.

5.1.2 Методологія розробки та впровадження системи моніторингу вод

Запропонована в даній дисертаційній роботі технологія базується на mashup методології розробки і впровадження систем IoT. Інструменти mashup (змішування) дозволяють виконувати швидке прототипування та використовувати перетворення та комбінування даних однієї чи декількох служб для досягнення цілей проекту. Вони також дозволяють підключати різні служби для створення нових процесів. Крім того, деякі інструменти змішування, наприклад Clickscript [9], WotKit [3], Paraimpu [13] можуть надавати засоби моделювання та підтримувати взаємодію між різними платформами. Вони можуть бути ефективними в описі архітектури системи, потоку повідомлень (наприклад, діаграм діяльності) та розгортання.

Основні етапи методології, заснованої на змішуванні, містять:

Етап 1: Дослідження ландшафту технологій розробки.

Цей етап націлений на вибір платформи для інтеграції між службами та віддаленими сервісами і дозволяє визначити найбільш придатні на сьогодні інструменти для задоволення цілей проекту IoT. Вибираючи інструмент, важливо враховувати наступні вимоги, щодо майбутнього рішення яке має:

- використовувати найбільш широко використовувані платформи;
- бути відкритим кодом і покладатися на відкриті стандарти;
- розгортатися локально;
- підтримувати кілька мов програмування.

Етап 3: Вибір і адаптація стандартів розробки.

Етап 4: Обробка та маніпулювання даними.

Оскільки основний акцент даного дисертаційного дослідження зроблено саме на технології використання даних, цей етап буде розглянуто більш

докладно. Основні компоненти обробки даних моніторингу в IoT проекті надано на рис. 5.4. У проектах IoT процес збору даних складається із збору даних IoT та звичайного збору даних, спрямованих на підтримку застарілих систем. Збір даних IoT може включати п'ять альтернативних протоколів рівня сеансу IoT, а саме AMQP, CoAP, DDS, MQTT та XMPP. Залежно від програми для цільової системи можна вибрати один або кілька протоколів для зв'язку IoT.



Рисунок 5.4 – Основні компоненти обробки даних моніторингу в IoT проекті

Функції обробки даних в основному залежать від типу програми моніторингу та містять реєстрацію даних, обробку даних вимірів параметрів моніторингу, обробку зображень / відео, аналіз даних та функції підтримки прийняття рішень. Одночасно можна використовувати одну або кілька функцій. Залежно від вимог програми ці функції можна розширити, щоб використовувати різні функції обробки. Візуалізація даних складається з функцій візуалізації поточних даних, отриманих з IoT приладів, мапування (відображення) та інструментів зведеної аналітики. Управління системою передбачає управління на рівні виконавчих механізмів та функції управління

системою, такі як ідентифікація пристроїв, виявлення вузлів, а також послуги каталогів та імен. Нарешті, функція зовнішніх послуг містить системи, що передаються зовні, такі як прогноз погоди, фінансові послуги та інші зовнішні системи.

Засоби mashup, як правило, надають графічний редактор для взаємозв'язку служб в одній програмі, а також моделюють потік повідомлень між компонентами. Компонентами можуть бути датчики, шлюзи IoT, зовнішні веб-сервіси тощо. У цьому контексті методологія змішування може розглядатися як конкретна форма програмування для кінцевих користувачів, яка обмежується конкретною моделлю. Як зазначалося в [14], інструменти змішування можуть отримати вигоду з концепцій підходів, заснованих на моделях. Крім того, підходи, керовані моделями, можуть краще відповідати IoT та забезпечувати прості у використанні інструменти.

5.2 Базові елементи технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT

Технологія проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT, складається з трьох основних етапів.

Перший етап зосереджений на проектуванні системи та містить дві задачі: (1) ідентифікацію змінних (джерела забруднюючих речовин, ключові параметри, райони розташування станцій моніторингу, пріоритети, номер станції, методи моніторингу, частота відбору проб); (2) розробка концептуального проекту системи (архітектура, основні компоненти системи, мережа, взаємозв'язок, базова конфігурація спостережної станції тощо).

Другий етап стосується розробки інструментів для доступу до даних у реальному часі, їх зберігання, обробки та візуалізації.

На третьому етапі здійснюється розробка аналітичних моделей та алгоритмів прийняття рішень для моніторингу в режимі реального часу та довгострокового періоду. Нижче розглядаються дві основні процедури, а саме проектування системи та інструменти для обробки та візуалізації даних, які

можуть запускатися майже одночасно двома різними групами розробників. Додаткову інформацію про процеси, пов'язані з проектуванням, можна знайти в роботах автора [1, 5, 6, 12, 16-18 (Додаток А)].

5.2.1 Проектування системи

Залежно від замовника та поточної ситуації, метою розробки та впровадження системи моніторингу на базі IoT може бути: (1) виявлення випадків забруднення води; (2) оптимізація процесів очищення; (3) моніторинг загроз та оцінка довгострокових тенденцій якості води внаслідок природних змін та антропогенного впливу.

Кожна ціль впливає на вибір параметрів, які контролюватиметься системою. У той же час можна виділити групу параметрів, які можуть забезпечити низький рівень контролю якості води і стати основою для розвитку станцій моніторингу.

5.2.1.1 Ідентифікація змінних

Моніторинг поверхневих вод охоплює спостереження та оцінку екологічного балансу різних водних біологічних систем, розташованих на поверхні Землі (річок, озер, перехідних або прибережних вод, штучних або істотно модифікованих водойм). Залежно від мети, система моніторингу поверхневих вод може передбачати різні етапи від пошукового моніторингу до моніторингу досліджень з певною періодичністю та оцінки результатів для класифікації екологічного та хімічного стану.

Для масштабної оцінки водного басейну доцільно проводити зонування, тобто поділ площі водойми на зони, за результатами контрольних спостережень, та подальше об'єднання цих зон у цілу мережу пунктів спостереження в проходи кожного сайту.

Таким чином може бути здійснена цілісна оцінка екологічного стану водосховища в проходах кожного басейну річки. Така мережева оцінка дасть можливість якісно визначити елементи та параметри, які оптимально

відображатимуть стан поверхневих вод, починаючи від їх еталонних значень до існуючих станів. Після чого, на основі характеристик та оцінок впливу для кожного періоду слід визначити відповідні процедури оцінки для обраних величин.

Дослідження якості вод проводиться в різноманітних ділянках:

- місця скидання стічних і вод зливових каналізацій населених місць, сільськогосподарських комплексів;
- місця скидання стічних вод окремих підприємств, електростанцій, великих промислових комплексів;
- місця скидання колекторно-дренажних вод, що відводяться з зрошуваних або осушуваних земель;
- кінцеві створи великих і середніх річок, що впадають в моря, внутрішні водойми;
- межі районів, територіальних одиниць, транскордонні водні об'єкти;
- в районах водокористування та прилеглих територій;
- місця нересту і концентрування цінних / рідкісних видів фауни водойм;
- місцях розробки і транспортування корисних копалин.

Основними параметрами, що вимірюються є алюміній, аміак й іони амонію, зважені речовини, гідрокарбонати, біохімічне споживання кисню (БПК), смак і присмак, водневий показник (рН), залізо загальне, жорсткість загальна, запах (без нагрівання), кальцій, карбонати, метали важкі (мідь, свинець, цинк), нікель, пінявість, нафтопродукти, нітрати, нітриди, окислюваність біхроматна (ХПК), окислюваність перманганатна, поверхнево-активні речовини (ПАР) аніоноактивні, прозорість, сухий залишок, сульфати, розчинений кисень, сірководень (сульфіди), феноли, фосфати (поліфосфати, загальний Р), хлориди, фториди, хромати (сумарно), каламутність, кольоровість.

В табл. 5.1 надано перелік найчастіше вимірюваних параметрів води та пов'язані з ними технології вимірів [18].

Фізичні параметри якості води включають температуру, каламутність та провідність.

Таблиця 5.1 – Найбільш часто вимірювані параметри води та пов'язані з ними технології зондування (адаптовано з [1, 8, 15, 18])

Параметр	Технологія вимірювання
Алюміній	Колориметрія; Атомно-абсорбційна спектрометрія
Сурма	Атомно-абсорбційна спектрометрія
Аміак й іони амонію	Колориметрія (Ручні заміри; Реагент Несслера; Автоматизований; Реакція Berthelot); Іонні селективні електроди
Активний Хлор	Колориметрія; Мембранні електроди; Полярографічні мембрани; 3- електродний вольтометричний метод
Провідність	Осередки провідності; кільцеві електроди; нікелеві електроди; електроди титану або благородного металу
Розчинений кисень	Мембранні електроди; 3-електродний вольтометричний метод; оптичні датчики
Іони (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺)	Іоноселективні електроди
Потенціал окислення-зменшення (ORP)	Потенціометри; електроди платини або благородного металу
pH	Титрування гідроксидом натрію; протонні селективні склобалочні електроди, протон-селективні оксиди металу; Іонно-чутливі польові транзистори (ISFET)
Фосфати	Ручна або автоматизована колориметрія
Температура	Термістори
Загальний органічний вуглець (ТОС)	УФ-персульфатне перетравлення з близьким інфрачервоним виявленням або мембранним кондуктометричним виявленням CO ₂
Каламутність	Оптичні датчики; Метод нефелометричного світлорозсіювання

Найбільш поширеними хімічними факторами, що вимірюються у воді, є іони алюмінію, аміаку та амонію, аніонні поверхнево-активні речовини, біохімічне споживання кисню (БСК), кальцій, карбонати, хімічна потреба в кисні (ХСК), хлориди, хромати (загальна), кольоровість, розчинений кисень (DO), сухий залишок, фториди, пінистість, важкі метали (мідь, свинець, цинк), вуглеводні, нікель, нітрати, нітроти, прозорість, нафтопродукти, феноли, фосфати (поліфосфати, загальний P), запах (без нагрівання), окислення-потенціал відновлення (ORP), pH, сульфати, окислення перманганату,

сірчистий рід (сульфіди), зважені тверді речовини, смак, загальний вміст заліза та загальна твердість. Вимірювані біологічні фактори включають наявність бактерій, вірусів, водоростей та пестицидів [2]. Інша група параметрів води складається з кількісних факторів, таких як рівень води, тиск потоку води та швидкість. У випадку повені надзвичайно важливим є вимірювання та моніторинг цих параметрів [18]. Повертаючись до фізико-хімічних характеристик, шість параметрів, що вимірюються для всіх типів поверхневих вод:

- (1) температура;
- (2) прозорість;
- (3) насичення киснем;
- (4) соляний луг;
- (5) окислення;
- (6) концентрація поживних речовин.

Що стосується конкретних забруднюючих речовин, їх можна вибрати в залежності від типів забруднень, виявлених у певних водних об'єктах, що підлягають контролю. При цьому, способи відбору проб також залежать від типу об'єкта. Так, наприклад, для річок відбір проб виконується з урахуванням наступних вимог:

- 1) попередньо визначається точки і глибини відбору;
- 2) відбір проводиться вниз за течією потоку, розташовуючи на потрібній глибині вище за течією в точці повного змішання вод (місцях максимально бурхливої течії, де потоки добре перемішуються);
- 3) при відборі необхідно враховувати добову циклічність, сезонність, режим періоду (паводок, межень);
- 4) для забезпечення достовірних результатів інструментального контролю необхідно:
 - виконувати вимоги чистоти пробовідбірного посуду;
 - дотримуватися всіх вказівок щодо роздільного відбору проб для усунення впливу компонентів які заважають один одному;

– дотримуватися всіх вказівок щодо консервації деяких компонентів води через протікання в пробі процесів окислення-відновлення, сорбції, седиментації, біохімічних процесів, викликаних життєдіяльністю мікроорганізмів.

Для відбору проб води з озер необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

1) застосовувати плановий статистичний відбір, враховуючи історичну хронологію водойми;

2) враховувати слабопроточність і значну неоднорідність води в горизонтальному напрямку (по глибині) - через термальну стратифікацію, причиною якої можуть бути фотосинтез в поверхневій зоні, підігрів води, вплив донних відкладень і ін. у великих глибоких водоймах може з'являтися внутрішня циркуляція.

3) виконувати п. (4) вимог до відбору проб для річок.

Для підземних вод:

1) визначити глибину горизонту;

2) оцінити градієнти підземних потоків, склад підземних порід через який протікає горизонт для визначення концентрацій домішок, відмінних за складом від водоносного шару;

3) враховувати можливість наявності декількох водоносних горизонтів, особливо, якщо проби беруться на різних глибинах;

4) прокачати свердловину протягом 10-15 хвилин перед відбором для поновлення води з накопиченим забруднювачем.

Для питних, водопровідних мереж:

1) при виборі місця відбору:

- не використовувати кінцеві ділянки мереж і ділянки з трубопроводами малого діаметра (менше 1,2 см);

- використовувати ділянки з турбулентним потоком (крани поблизу клапанів, вигинів);

2) спустити воду для оновлення протягом 10-15 хвилин;

3) відбір проводити з повільною течією потоку і повним переливом пробовідбірної ємності.

Традиційні засоби збору даних, що ґрунтуються на лабораторних методах аналізу представлено в табл. 4.2.

Таблиця 5.2 – Засоби реалізації збору даних

Тип вод	Засоби збору даних
Поверхневі води	<ul style="list-style-type: none"> - стаціонарні станції; - пересувні пости; - автоматизовані системи спостережень; - системи дистанційного зонування (геоінформаційних систем, і т.д.); - атестовані стаціонарні інструментальні лабораторії.
Підземні джерела у т.ч. питні води	<ul style="list-style-type: none"> - мережа спостережних свердловин на ділянці водозбору та прилеглої території; - атестовані стаціонарні інструментальні лабораторії.
Моря, океани	<ul style="list-style-type: none"> - стаціонарні станції; - пересувні пости; - системи дистанційного зонування.
Стічні води	<ul style="list-style-type: none"> - стаціонарні станції; - пересувні пости; - автоматизовані системи спостережень; - атестовані інструментальні лабораторії.

Для поверхневих вод спостереження проводяться з урахуванням гідрометричних умов і морфологічних об'єктів водних систем, даних наявності джерел забруднення, обсягу і параметрів складу стічних вод.

Для вод морів та океанів межі мережі моніторингу визначають залежно від фізико-географічних особливостей кожного моря/океану, з урахуванням

розподілу забруднюючих речовин і гідрометеорологічного режиму. Що стосується перспективних засобів он-лайн моніторингу, більшість з них ґрунтується на технології IoT і містять різноманітні пристрої, сенсори (волоконно-оптичні сенсори, lab-on-chip, біосенсори, ЕМ-сенсори, у тому числі мікрохвильові, та ін.), веб платформи, хмарні сервери, центри управління та обробки інформації.

5.2.1.2 Розробка загальної архітектури системи

Етап проектування системи пов'язаний з фізичною побудовою системи IoT і охоплював низку процедур, таких як встановлення загальної архітектури системи, проектування пристроїв контролю, конфігурація мережі, дизайн інтерфейсів тощо. Нижче обговорюються перші дві фази.

Існує кілька підходів до розробки архітектур моніторингу води IoT. Система моніторингу якості води на основі WSN зазвичай використовує тришарову структуру: рівень збору даних, рівень транспортування даних та рівень додатків для встановлення своєї архітектури. На рівні збору даних система контролю якості води використовує WSN, яка утворена великою кількістю крихітних вузлів датчиків бездротовим способом самоорганізації (рис. 5.5).

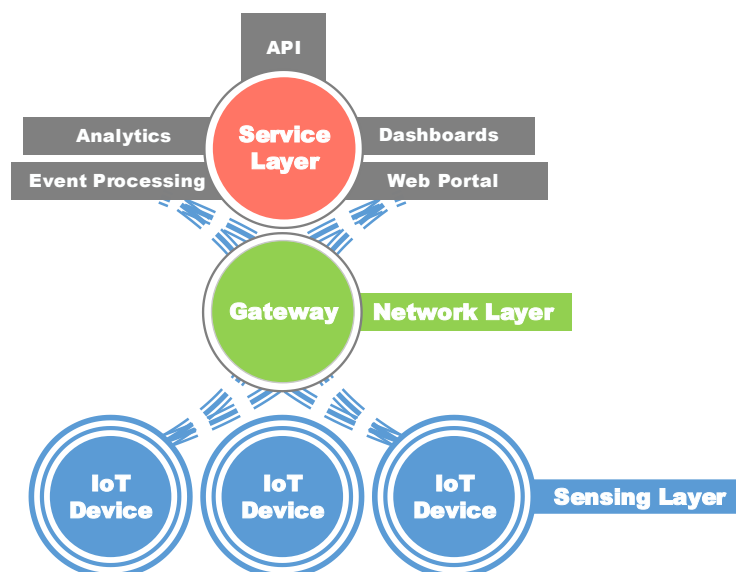


Рисунок 5.5 – Типова тришарова архітектура системи моніторингу води на основі IoT

У транспортному рівні даних існує два типи методів передачі: передача даних на великі та короткі відстані. Система використовує GPRS для передачі даних на великі відстані, а за допомогою Zigbee отримує дані моніторингу датчиків. На прикладному рівні за допомогою програмного забезпечення користувачі можуть постійно контролювати якість води за даними у реальному часі, щоб забезпечити якість поверхневих вод.

Подальші вдосконалення додатково можуть використовувати рівні обробки, транспорту, бізнесу та безпеки. Приклади більш багатопланових архітектур можна знайти в [12], де було запропоновано п'ятирівневу основу на мережі управління телекомунікаціями, або в [11], де обговорюється шестишарова архітектура, що поєднує веб-послуги, RFID та WSN.

Інший погляд на архітектуру IoT дозволяє класифікувати їх за двома іншими типами, а саме хмарними та туманними або крайовими обчисленнями. Перший тип передбачає, що обробка даних здійснюватиметься на хмарних комп'ютерах централізовано. Це означає, що все, включаючи моніторинг, зберігання даних, попередню обробку, видобуток даних та візуалізацію, надходить через хмару, тоді як друга архітектура дозволяє спільно використовувати деякі функції, наприклад, моніторинг, попередню обробку, зберігання між фізичним та транспортним рівнями. У системах, заснованих на парадигмі обчислення туману, моніторинг та попередня обробка здійснюються по краях.

5.2.2 Розробка інструментів для доступу до даних у реальному часі

5.2.2.1 Проектування базової конфігурації станцій моніторингу води

Етап розробки станцій моніторингу якості води починається відразу після вибору параметрів, місць контролю та загальної архітектури системи, що контролюються. Кожна станція моніторингу води включає датчики, що використовуються для вимірювання вибраних параметрів та допоміжного обладнання, необхідного для подачі енергії на станцію, передачі даних до мережі та захисту від небажаних втручань та впливів навколишнього

середовища. При проектуванні станцій моніторингу води IoT необхідно врахувати такі компоненти:

- Прилади та / або датчики для вимірювання вибраних параметрів;
- Спосіб розміщення датчиків, які будуть постійно контактувати з водою;
- Джерела живлення;
- Засоби передачі даних;
- Корпус для установки та захисту вимірювальних приладів та приладдя;
- Інструменти для захисту станції від можливих перешкод та навколишнього середовища.

Існують різні підходи до вимірювання параметрів якості води; по відношенню до станцій моніторингу IoT можна використовувати занурення датчиків та / або впорскування води в датчики, розташовані в поточній камері. У запропонованій системі застосовано підхід із зануренням пристроїв безпосередньо у воду. Це гарантує, що датчики вимірюють параметри води з мінімальними порушеннями без зміни зразків.

На рис. 5.6 показані варіанти конфігурацій розміщення занурювальних пристроїв IoT у воду.

Такий метод відбору проб особливо корисний для вимірювання розчинного кисню, оскільки він може змінюватися внаслідок змішування та транспортування до місця вимірювання. Недоліком цього підходу є те, що датчик, призначений для використання таким чином, повинен бути оснащений захисним корпусом, і періодичне очищення зонда є необхідним.

З огляду на специфіку досліджуваного регіону та суттєву вартість комерційних приладів, в даній дисертаційній роботі було вирішено спроектувати власний підводний пристрій виконаний у вигляді труби (зовнішня капсула) та модульної стопки з опорною конструкцією обладнання (внутрішня капсула). Зовнішня капсула герметично закрита.

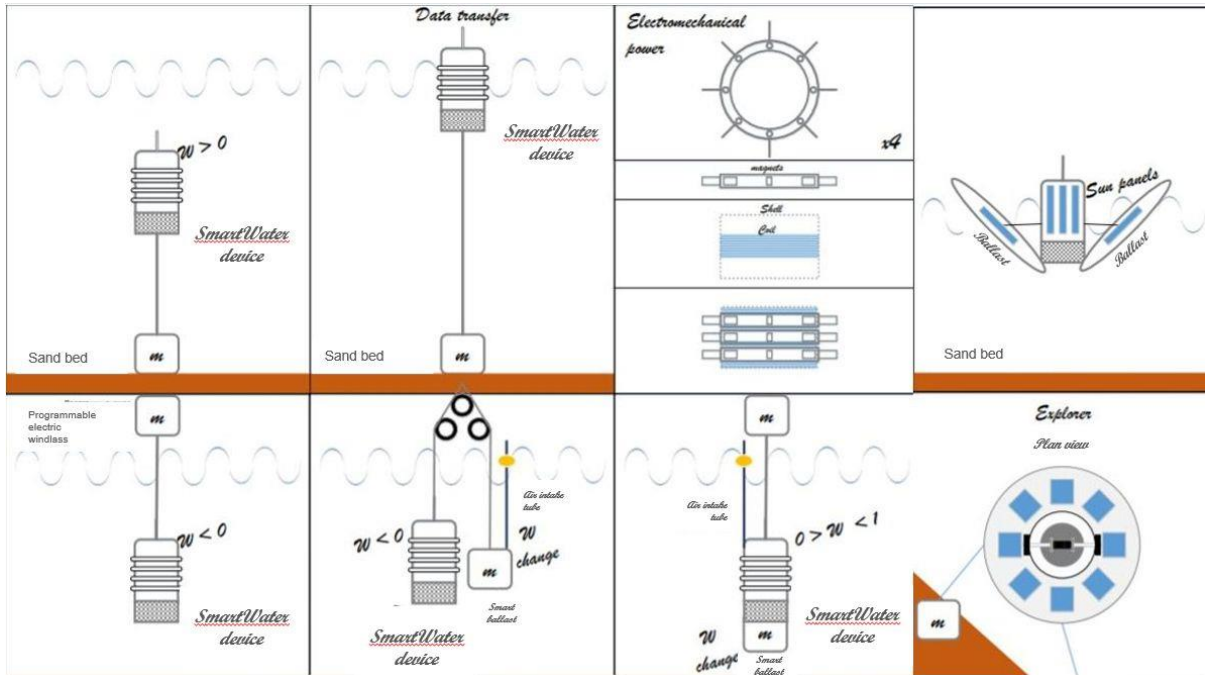


Рисунок 5.6 – Приклади розміщення пристрою зануренням

Прототип пристрою відображено на рис. 5.7.



Рисунок 5.7 – Прототип занурювального приладу для вимірювання параметрів якості води

Основна ідея полягає в тому, щоб розмістити капсулу безпосередньо у воді та отримати дані за допомогою запланованого графіка активації датчиків. Все контрольно-вимірювальне обладнання має розміщуватися на стосі модулів усередині трубки.

5.2.2.2 Спосіб реалізації взаємодії різних IoT платформ

Очевидно, що різноманітність параметрів, засобів та умов збору даних обумовлюють використання різних платформ IoT, що потребують особливих методів збору, передачі та опрацювання даних. Більше того, в реальному житті різні засоби, середовища та платформи IoT повинні співіснувати з іншими типами IT. Якщо припустити, що кілька платформ IoT можуть використовуватися одночасно для вимірювання параметрів з річок, озер, морів, підземних вод тощо, неодмінно виникне питання одночасної обробки великих обсягів гетерогенної інформації з масивних пристроїв IoT. Приклад співіснування різних систем IoT надано на рис. 5.8.

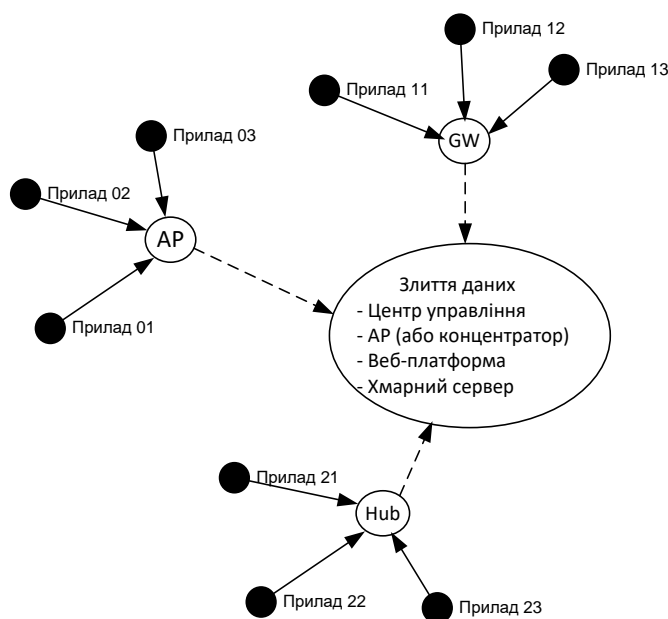


Рисунок 5.8 – Приклад взаємодії різних IoT платформ (адаптовано з [11]).

За умов, коли кожна платформа IoT має типову структуру, що складається з кінцевого приладу, концентратора і центру злиття, можливо

розробити єдину технологію обробки і передачі даних. Так, у схемі рис. 1. кожен кінцевий прилад фіксує інформацію відповідно до власних цілей, концентратор (Hub) відповідає за збір даних з багатьох пристроїв і перенаправляє його в центр злиття. Нарешті, всі дані передаються до центрів злиття, які виконують їх обробку, управління та аналіз. У середній точці концентратори можуть діяти по-різному відносно платформ IoT, наприклад, або в якості точки доступу (access point, AP), або в якості шлюзу (gateway, GW). Загальним завданням кінцевого вузла IoT є передача даних, що зчитуються, до конкретного вузла або центру злиття; однак, питання як ефективно збирати, зберігати і передавати дані з великої кількості вузлів-джерел, все ще залишається проблемою.

Для вирішення цієї проблеми можливо використовувати моделі компресійного вимірювання (Compressive Sensing, CS), запропоновані в [11]. Компресійне вимірювання – це технологія, що дозволяє проводити попередню вибірку даних зі швидкістю, меншою за частоту дискретизації Найквіста [4, 6]. Теорія CS стверджує, що якщо сигнал є розрідженим у області перетворення, то він може бути реконструйований з невеликого набору лінійних вимірювань з використанням алгоритмів спрощеної оптимізації. Передбачається, що кожен вузол отримує самостійно й ідентично розподілені (i.i.d.) сигнали. У цьому випадку компресійне вимірювання може використовуватися для ефективного зменшення частоти дискретизації без виродження продуктивності відновлення. Так, k -стиснений сигнал $x \in \mathbb{R}^n$ може бути повністю описаний k ненульовими компонентами. x може бути відібрано з диверсифікуючою матрицею і можна отримати вектор вимірювання y . Процес вибірки можна описати наступною моделлю:

$$y = Ax + \delta,$$

де якій A позначає матрицю вимірювання розміром $m \times n$, δ - шум.

У мережах IoT вимірювання y можна представити як:

$$y = [y_1, \dots, y_m]^T = \sum_{j=1}^n A_{i,j} x_j,$$

де y_m можна представити у вигляді лінійної комбінації малорозмірного сигналу x_j .

Кожен вузол може обчислювати x_j , помноживши відповідний елемент матриці $A_{i,j}$, який можна побудувати, вибравши записи як i.i.d. реалізацій з деякого розподілу ймовірностей [10].

Потім, рандомізовані значення можуть використовуватися для агрегації $A_{i,j}x_j$ в центрі злиття. Таким чином, значення у стає доступним у центрі злиття даних. Враховуючи, що мережа з n вузлами при розташуванні $\{p_i\}$, $i = 1, \dots, n$ здійснює моніторинг декількох подій, припустимо, що вузли $N_a(t)$ знаходяться в активному режимі, а $N_s(t)$ - у сплячому режимі в момент часу t . Нехай x_i позначає вихідне значення при p_i . Тоді вимір y_i непарного вузла i може бути представлений як

$$y_i = \sum_{j=1}^n A_{j,i} x_j + \delta_i,$$

де $A_{i,j} = A_{i,j}$ - вплив цієї події на точку сенсора p_i , а δ_i - випадковий шум вимірювання нульового середнього. Тут x є розрідженим, а $A_{i,j}$ визначається під час розгортання мережі.

Припустимо, що вплив $A_{i,j} = 0$, якщо відстань від j до i більше, ніж діапазон зв'язку. Тоді вимірювання y_i можна визначити наступним чином:

$$y_i = x_i + \sum_{j=1}^n A_{j,i} x_j + \delta_i.$$

Тоді, згідно [11], для активних вузлів y_a мережі маємо:

$$y_a = MAx + \delta_a,$$

де A - матриця розміром $n \times n$, де (i, j) -й елемент є значенням $A_{i,j}$, M – матриця вимірювань розміром $m \times n$, яка вибирає m рядків з A відповідних активним датчикам, y_a і δ_a – відповідно вектори вимірювання і шуму розміром $m \times 1$.

Якщо деякі пристрої IoT в мережі мають більше значення, ніж інші, центр злиття даних може врахувати це значення при реконструкції переданих даних, шляхом додавання до базової моделі вагових векторів.

До переваг моделей компресійного вимірювання можна віднести наступні: кількість зразків, що генеруються кожним вузлом, може бути значно зменшено без втрати точності відновлення; що в свою чергу може призвести до значного скорочення комунікацій в мережах; вартість обчислень на вузлах також може бути зменшена.

Враховуючи позитивний досвід використання моделей CS, подальші дослідження будуть направлені на пошук найкращого в сенсі точності та обчислювальної складності методу злиття даних та розрахунок ефективності стиснення даних моніторингу водних об'єктів в різних IoT платформах.

5.2.3 Інструменти обробки та візуалізації даних

Для досягнення надійних та надійних результатів моніторингу дані, отримані від пристроїв IoT та станцій моніторингу, повинні бути перетворені в управлінську інформацію.

Система управління інформацією повинна забезпечувати можливості зберігання, доступу, аналізу, звітності та візуалізації даних. З цієї перспективи методи аналізу та візуалізації можуть відрізнятися для кожної мети. Так наприклад, для виявлення випадків забруднення можна використовувати два наступні методи обробки даних: (1) аналіз порогових значень та (2) автоматизовані системи виявлення аномалій.

Аналіз порогових значень є найпростішим способом виявлення забруднення. Порогові значення базуються на нормальній мінливості кожного параметра в кожному місці, таким чином перевищення порогу вказує на

аномалію якості води. Як правило, порогові значення встановлюються шляхом статистичного аналізу історичних даних, зібраних протягом репрезентативного періоду. За наявності значних змін якості води, таких як сезонна мінливість, для кожного періоду, що характеризується значною різницею, можна встановити базові та унікальні пороги.

Автоматизовані системи виявлення використовують спеціальні програмні алгоритми для аналізу поведінки кількох параметрів, виміряних на одній станції спостереження, для виявлення аномалій. Для підтримки аналізу даних у режимі реального часу інформацію про якість води слід регулярно надсилати. У цьому випадку, корисним є розробка інформаційних панелей. Інформаційна панель - це графічний користувацький інтерфейс, що об'єднує та відображає дані з різних джерел просторово та графічно.

Розробка інструменту візуалізації починається зі створення функцій, які відповідають найбільш важливим параметрам і областям. Початковий процес планування також включає розробку прототипів для кращого розуміння поточного проекту та вивчення того, як ключові компоненти інтерфейсу дозволяють взаємодіяти з користувачами. Приклад інформаційної панелі показаний на рис. 5.9.

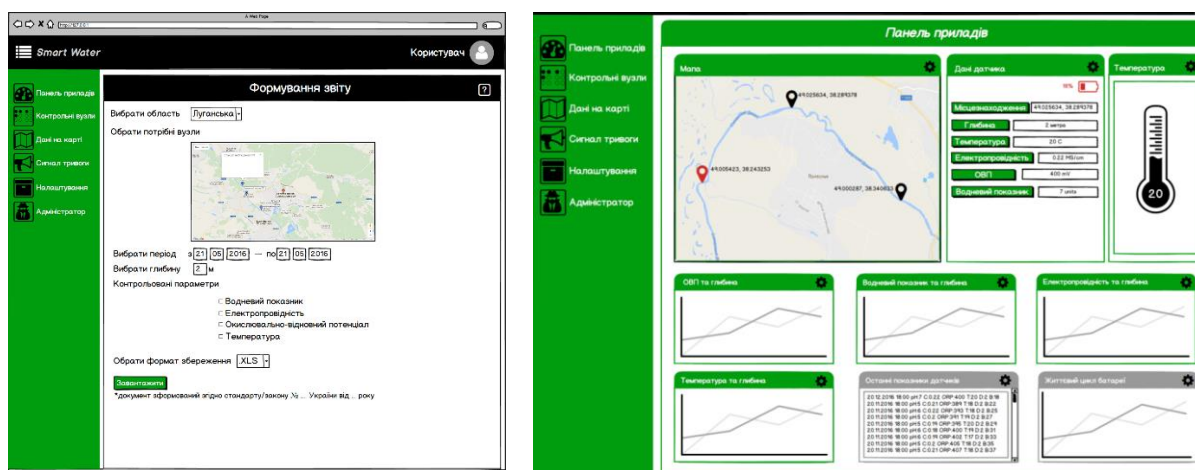


Рисунок 5.9 – Прототип інформаційної панелі системи моніторингу водних об'єктів

Окрім основних, в дизайн панелі можуть бути включені додаткові інформаційні ресурси, що підтримують інтерпретацію даних про якість води, наприклад, дані про погодні умови.

Аналогічним чином, завдання виявлення інцидентів із забрудненням, щоб підтримати оптимізацію процесів очищення, можна використовувати двома способами: (1) аналіз порогових значень та (2) моделювання та регулювання процесів очищення. Порогові значення повинні бути визначені для кожного контрольованого параметра та кожного процесу. Порогові значення для оптимізації процесів очищення включають моніторинг у режимі реального часу параметрів, які впливають на ефективність процесу очищення та налаштування процесу, коли контрольовані показники перетинають раніше визначені пороги.

Оскільки більшість процесів впливає на декілька параметрів, окремі пороги, як правило, не розглядаються поодиноці. У цьому випадку поєднання статистичного аналізу історичних даних про якість води та знань про ефективність процесу очищення може бути використано для встановлення порогових значень. Згідно рекомендацій [23], для порогових значень слід встановити коефіцієнт безпеки від п'яти до десяти відсотків, що гарантує певний час для того, хто приймає рішення, для вивчення та реагування на зміни якості води.

У разі моніторингу довгострокових загроз якості води необхідний постійний аналіз даних протягом декількох років. Це дозволяє виявити тенденції та постійні зміни у базовому сценарії. У довгостроковій перспективі проводиться систематичний аналіз, щоб визначити, чи була змінена базова лінія для кількох параметрів у конкретному місці, де знаходиться станція обліку, і як базова лінія для цього параметра змінилася в декількох місцях. Ці результати можуть, наприклад, допомогти зрозуміти, чи поширені ці зміни у всій поверхневій воді та розподілі води, чи вони ізольовані в певній зоні. Яким би не був предмет моніторингу, аналітичні засоби та засоби візуалізації є абсолютно необхідними.

5.3 Приклад реалізації запропонованої технології

Запропонований підхід до розробки системи моніторингу води в режимі реального часу був використаний на етапі проектування системи SmartWater. Для тематичного дослідження відрізків річки Сіверський Донець (площа басейну р. Дон, номер масиву, код UA_R_16_XL_1_SI, номер масиву UA_M6.5.1_0007, місцевість низовини, силікатна геологія, пункти відбору проб 440, 444 та 454 км).

Річка Сіверський Донець є головною водною артерією на Сході України та найбільш напруженою в плані управління водними ресурсами через велику кількість викидів зворотної води з хімічної та вугільної промисловості, комунального господарства та інших галузей. Звідси і досить високий рівень забруднення річок за такими показниками, як мінералізація, сульфати та нітроти. У долині річки є забори підземних вод, які також використовуються для централізованого постачання питної води населенню регіону. Скидання стічних вод компанії у річку Сіверський Донець розташоване в районі під впаданням річки Червона та над впаданням річки Борова.

Ділянка річки Сіверський Донець над виходом зворотної води піддається впливу промислових підприємств та стічних вод регіональних компаній, переважно хімічної та вугільної промисловості, комунальне господарство та інші галузі. Звідси і досить високий рівень забруднення річок за такими показниками, як мінералізація, сульфати та нітроти. У долині річки є забори підземних вод, які також використовуються для централізованого постачання питної води населенню регіону. Скидання стічних вод компанії у річку Сіверський Донець розташоване в районі під впаданням річки Червона та над впаданням річки Борова.

Ділянка річки Сіверський Донець над водовідводом зворотної води піддається впливу промислових підприємств та стічних вод регіональних компаній, переважно хімічної та котушкової промисловості. На додаток до цих скидів, на якість води в річці впливає поверхневий стік із сільськогосподарських угідь та поселень та процеси самоочищення.

Гідрографічна схема розташування скидів стічних вод, фону та контрольних ліній представлена на рис. 5.10.

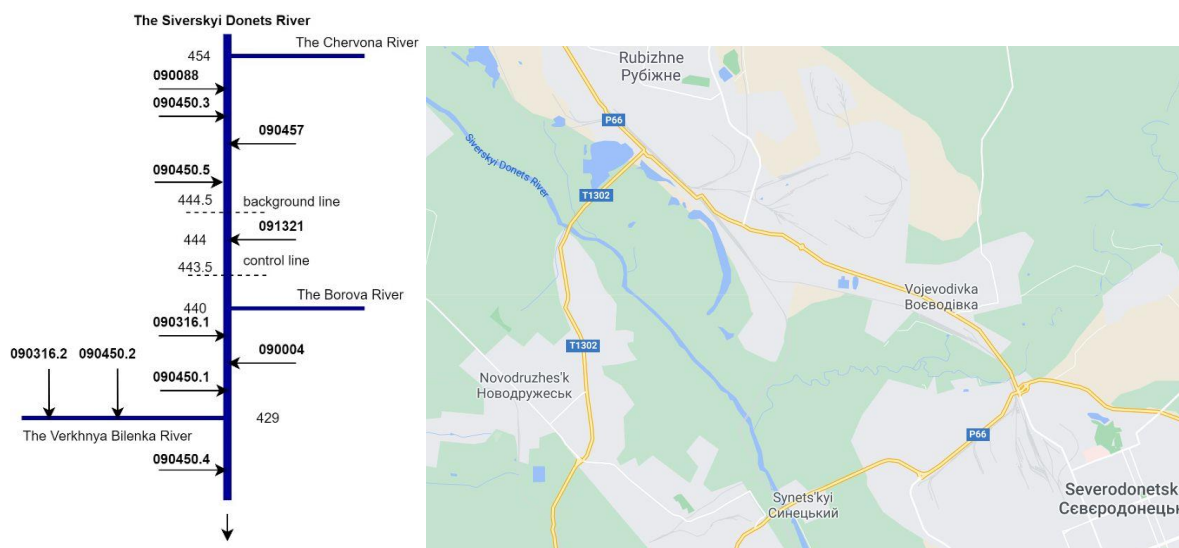


Рисунок 5.10 – Досліджувана площа та гідрографічна схема розташування скидів стічних вод, фону та контрольних ліній

Програма моніторингу в регіоні справи здійснюється як стаціонарними станціями моніторингу, так і системою SmartWater [16]. Стаціонарні станції - це автономне вимірювальне обладнання, де проби води відбираються з річки, а потім аналізуються в лабораторії. Інформація про систему SmartWater наведена нижче.

5.3.1 Архітектура системи

Розроблена система SmartWater базується на хмарно-орієнтованій архітектурі, показаній на рис. 5.11. Вона складається з трьох еталонних рівнів (збір даних, мережа та застосування) та елементів рівнів обробки даних, бізнес-аналітики та захисного рівня.

Шар збору даних складається з базової станції, вузлів датчиків у вигляді пристроїв IoT StartWater. Вузли датчиків живляться сонячним енергетичним модулем. На стороні вузла дані про якість води збираються різними

датчиками, що входять до складу приладу (температура води, глибина, рН, розчинний кисень, окисно-водневий потенціал (ОВП), електропровідність). Передача даних між вузлом і базовою станцією здійснюється за допомогою технології WSN (IEEE 802.15.4). Мережевий рівень SmartWater на основі протоколу IPv6 для передачі, управління та обробки даних, що передаються від рівня сприйняття.

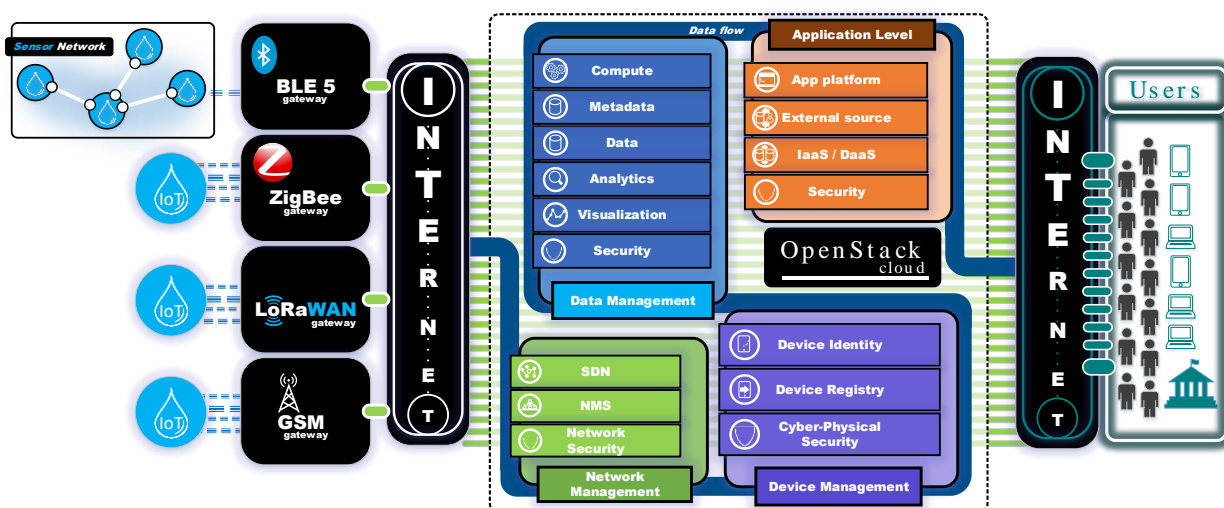


Рисунок 5.11 – Архітектура SmartWater

Для зв'язку в Інтернеті речей ми вибрали між 6LoWPAN, оскільки він підтримує топологію зірок і сіток, дешевий та має низьке енергоспоживання, Zigbee, який є бездротовим протоколом 1494, що забезпечує низьку вартість, низьке споживання енергії та високий рівень безпеки під час спілкування та підтримує зірку, сітку і топологію дерева; та LoRa (широкополосна мережа низької потужності). LoRa також має низьке енергоспоживання, вартість та високу швидкість передачі даних.

Рівень додатків управляє програмами, що використовуються в SmartWater на основі протоколу MQTT. Зокрема, це прийнято для побудови онлайн-платформ та сервісів для обробки інформації, управління даними, інтелектуальних обчислень, проміжного програмного забезпечення тощо. Вся обробка даних IoT здійснюється в хмарі або на віддаленому сервері.

5.3.2 Пристрій IoT

SmartWater [16] використовує набір спеціальних пристроїв IoT для періодичного вимірювання параметрів якості води, таких як рН, каламутність, провідність, розчинений кисень і температура, тощо. Прилад, виконаний на основі технології інтернет речей, який дозволяє поєднати об'єкти первинного зняття даних з будь-яким пристроєм в локальній мережі, що дозволить оперативно вимірювати і передавати дані на базову станцію/сервер, і від туди спрямовуватися на обробку (моделювання) даних.

Електрична частина пристрою контролю якості води складається з трьох підмодулів - це частина датчика, частина контролера та батареї та частина зв'язку, як показано на рис. 5.12.

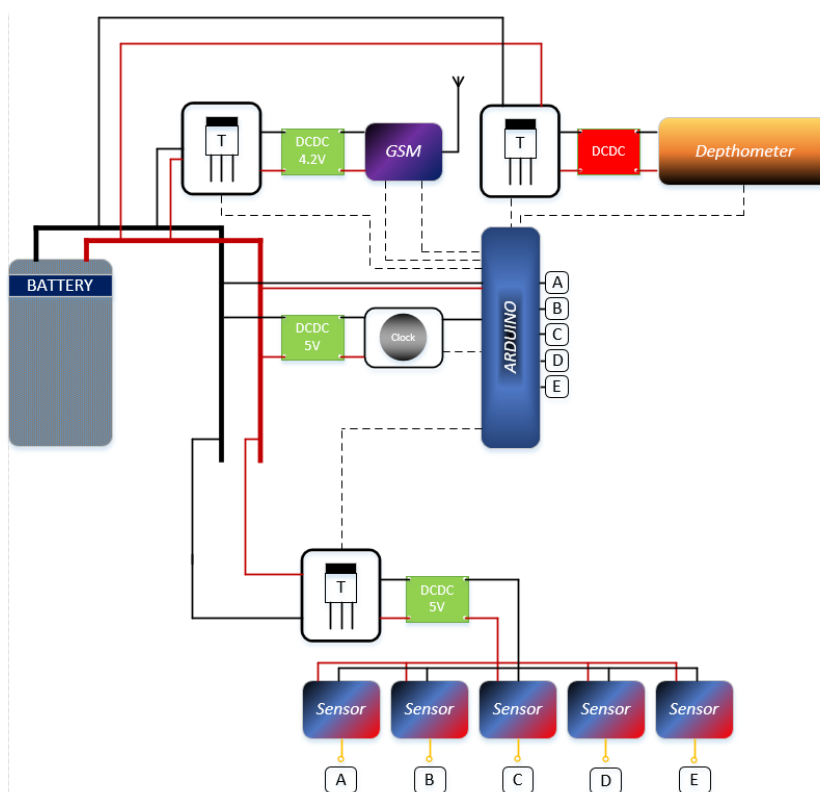


Рисунок 5.12 – Електричні підключення пристрою контролю якості води

Пристрій являє собою герметичну занурювальну капсулу (рис. 5.13), яка містить датчики для вимірювання параметрів води, плату з годинником реального часу, акумулятор, Мікро-SD та засоби передачі даних.



Рисунок 5.13 – Конструкція пристрою IoT

Кожен пристрій може містити від 3 до 5 датчиків одночасно, залежно від їх розміру та вимог до взаємних перешкод. Параметри вимірюються за розкладом, надсилаються на центральний сервер і відображаються на інформаційній панелі в режимі реального часу. Для прототипу приладу були обрані показники: температура води, глибина, рН, розчинний кисень, окисно-водневий потенціал (ОВП), електропровідність. У табл. 5.3 представлена сенсорна частина пристрою IoT з їх приблизною вартістю.

Таблиця 5.3 – Датчики, що використовуються в пристрої контролю якості води системи SmartWater

Датчик	Вартість, у.о.
Gravity: Analog pH Sensor / Meter Pro Kit For Arduino	57,00
Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor / Meter For Arduino	70,00
Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino	169,00
Gravity: Analog ORP Sensor Meter For Arduino	90,00
Gravity: Analog Signal Isolator	20

5.3.3 Програмне забезпечення обробки та передачі даних

Програмне забезпечення системи виконує наступні функції: ініціалізація угоди в мережі, контроль збору даних з вузлів, перетворення даних про якість води, надсилання та отримання даних до віддаленого центру обробки даних. На початку налаштування мережі вузол координатора відповідає за ініціалізацію та побудову мережі. Коли новий вузол приєднується або виходить, координатор одночасно оновлює власну таблицю стану вузла і надсилає цю зміну у віддалений центр обробки даних. Вузол координатора також приймає та інтегрує дані про якість води в мережі від вузлів датчиків. Він розділений на дві частини: одержувач даних та відправник. На рис. 5.14 представлена блок-схема приймача підтвердження.

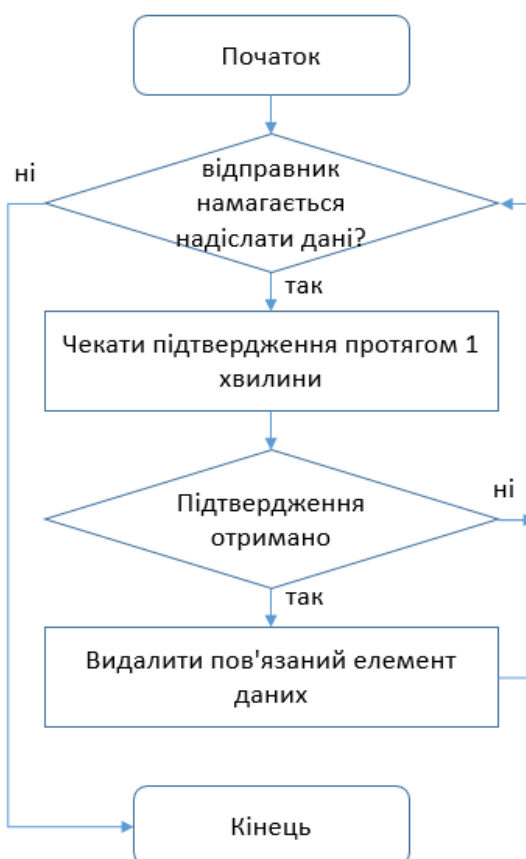


Рисунок 5.14 – Приймач підтвердження даних

Процес передачі даних реалізований як шаблон монітора. Монітор контролює доступ до спільного набору даних, який є хеш-таблицею, що

містить позначку часу вимірювання як ключ, а саме вимірювання як значення вибірки. Одночасно відправник даних виконує процес надсилання, при цьому приймач підтвердження прослуховує будь-які підтвердження, які він може отримати від базової станції. Коли відправник даних або отримувач підтвердження хоче отримати доступ до спільного набору даних, вони повинні запитати у монітора дозвіл на доступ. Коли приймач підтвердження отримує повідомлення підтвердження, яке ідентифікується за значенням ключа, приймач видаляє пов'язаний елемент із набору даних.

Відправник даних припинить спроби надіслати дані, коли всі елементи даних були підтверджені або вже пробували протягом певної кількості випробувань. Блок-схема відправника даних проілюстрована на рис. 5.15.

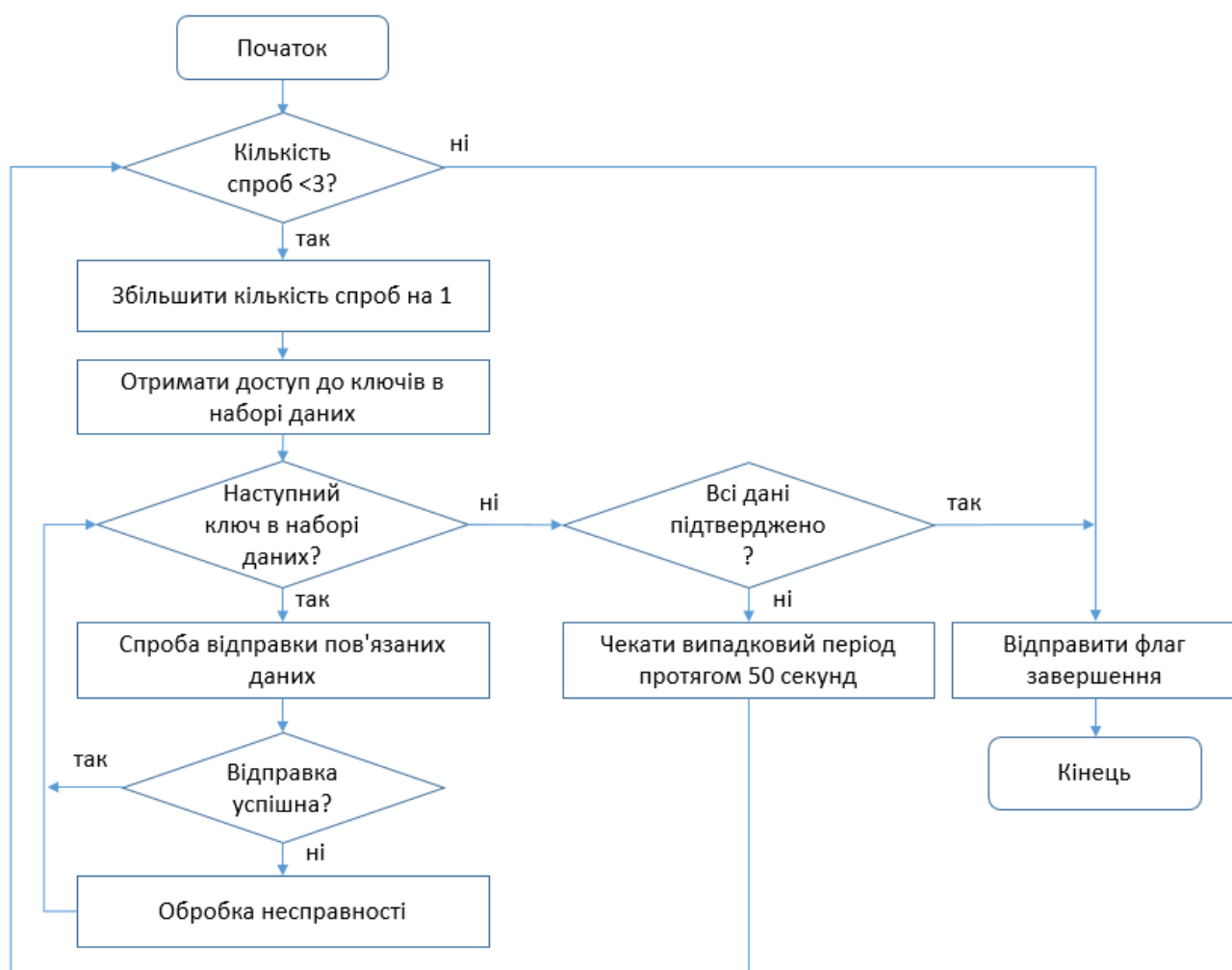


Рисунок 5.15 – Відправник даних

Оскільки вузол датчика працює в польових умовах і живиться від сонячної панелі, його енергоспоживання обмежене. У вузлі реалізовано режим глибокого сну, який споживає енергію менше, ніж зазвичай.

У WSN переважна більшість вузлів є датчиком. Таким чином, споживання енергії вузлів датчиків безпосередньо визначає споживання енергії WSN в режимі очікування.

У режимі очікування споживання енергії цілими вузлами нижче 100 мА. У режимі пробудження RF-модуль буде ввімкнено.

У цьому процесі споживання струму досягає 30 мА, але цей процес триватиме менше 1 секунди. Таким чином, очікується, що час роботи вузла датчика у ввімкненому стані складає менше 1 сек на годину. Середнє споживання струму відповідно: < 110 мкА, що забезпечує роботу системи протягом тижнів. Основна блок-схема вузла датчика показана на рис. 5.16.



Рисунок 5.16 – Блок-схема роботи сенсорного вузла

5.3.4 Інформаційна панель

Дані, зібрані пристроями IoT, пересилаються шлюзом до хмари, а потім використовуються для аналізу та відображаються на веб-панелі інструментів. Знімок головного екрану показаний на рис. 5.17. Основні параметри, а саме рН, ОРР, ЕС та DO постійно відображаються на головному екрані. Додаткова інформація, яка підтримує інтерпретацію даних про якість води, така як дані про погоду, також міститься на панелі.

Коли виявляються аномалії, система генерує попередження про зміни якості води. Усі попередження подаються за допомогою спеціальних повідомлень на екрані інформаційної панелі та дублюються як текстові повідомлення на смартфоні, підключеному до системи. Сповіщення включають час, місце розташування приладу / станції обліку, параметр та його поточне значення.



Рисунок 5.17 – Основний екран системи моніторингу SmartWater

5.3.5 Аналіз якості води

Система використовується для виявлення забруднення, спричиненого аваріями (наприклад, скидами хімічних речовин або розливом у джерела

води), незвичними викидами (наприклад, неочищеними стічними водами) та природними явищами (наприклад, цвітіння водоростей). На рис. 5.18, 5.19 наведено приклади показників якості води та результати аналізу даних.

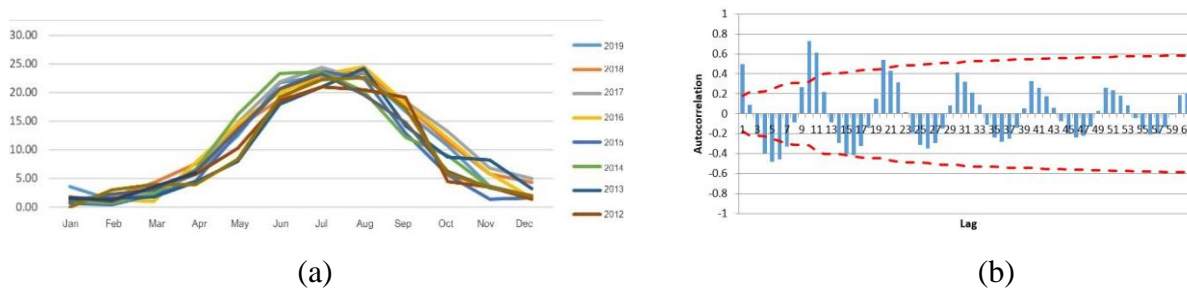


Рисунок 5.18 – Температура води (а) Порівняльний розподіл температури води протягом 2012-2019 років, (б) Функція автокореляції (з обмеженим значенням) для температури в діапазоні 12 місяців

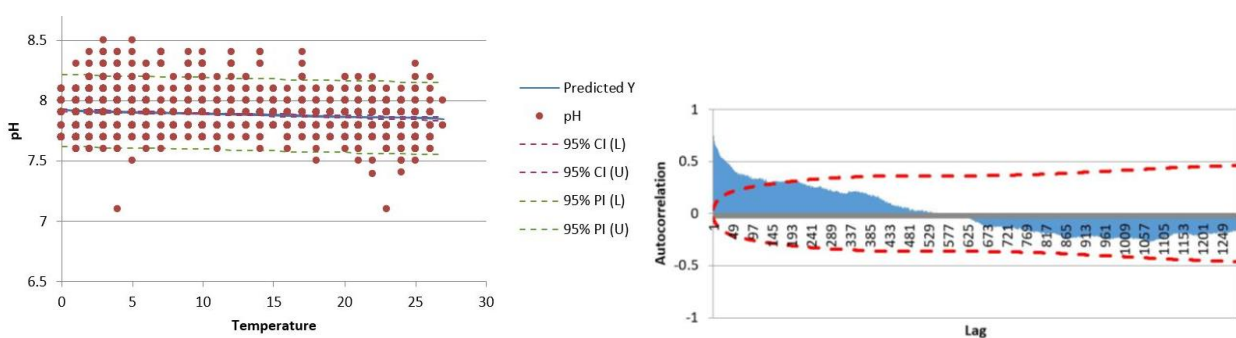


Рисунок 5.19 – Показники рН та температура (а) Розсіяний графік рН у порівнянні з температурою, (б) функція автокореляції (з обмеженим значенням) для рН в діапазоні 365 значень

Дані, отримані від системи SmartWater, разом із даними стаціонарних станцій моніторингу підтримують процедури оцінки поточного стану, довгострокового статистичного аналізу та прогнозування стану річкових вод. Також розглядаються існуючі сезонні ефекти від природної та антропогенної діяльності.

Результати, отримані завдяки SmartWater, значно підвищують ефективність обробки даних, надаючи найновішу інформацію про стан поверхневих вод, що дозволяє виявити значні зміни в якості води та

впровадити зміни в конкретних стратегіях управління для більш ефективного захисту поверхневих вод.

5.4 Оцінка ефективності впровадження

Оскільки дисертаційне дослідження в основному спрямовано на розробку моделей і методів інформаційної технології проектування віддаленої системи моніторингу якості води в режимі реального часу, в Розділах 2,3 було представлено лише декілька висновків про можливість розташування приладів та вибір параметрів оцінки якості води. Щодо даних моніторингу, у Розділі 3 наведено результати аналізу довгострокових спостережень і далі розглянуто висновки за результатами тестової експлуатації системи моніторингу якості води в режимі реального часу.

Оскільки зонд якості води був розміщений біля поверхні води, глибиною близько 50 см, результати виявляють особливості епілімніона (поверхневого шару водойми), що температура води високо чутлива до сонячного випромінювання, концентрація DO та рН високі. Дані про якість води, зібрані проектом, показують особливості параметрів якості води, отримані через щотижневі / щомісячні схеми моніторингу, такі як великі добові цикли температури і концентрації розчиненого кисню, а також значення рН.

У Розділі 4 та у Додатку Г надано результати аналізу даних, зібраних за допомогою традиційних методів моніторингу, які можуть лише проілюструвати річну тенденцію зміни температури води, високої температури влітку та низької температури взимку.

Хоча традиційна схема моніторингу якості води може забезпечити розумні сезонні коливання якості води з 2007 року, їй бракує достатніх деталей щодо добових коливань якості води [5]. Окрім цього, коли проби відбираються періодично, це дає можливість визначити, як якість води, відібраної у зразках, відрізнялася від середньодобової величини.

Наприклад, беручи до уваги той факт, що температура води є високою в середині дня і низькою рано вранці, якщо час відбору проби не було

зафіксовано, важко визначити, чи є виміряна температура води вищою або нижчою, ніж добове середнє. Таким чином, існує значна невизначеність схеми ручного контролю якості води.

Незважаючи на невизначеність і низьку частоту відбору проб, схема ручного контролю якості води забезпечує загальну тенденцію зміни якості води в довгостроковій перспективі, тоді як сучасна система моніторингу на базі IoT надає більш детальну інформацію про фактичні коливання якості води.

Так, наприклад, враховуючи добовий цикл якості води, основним фактором впливу на коливання теплового режиму, як і передбачалося, є сонячне випромінювання. Вода нагрівається сонячною радіацією вдень і охолоджується через випромінювання вночі. Добовий цикл концентрації розчиненого кисню зумовлений, головним чином, фотосинтезом, де хлорофілу багато в денний час та диханням водних організмів у нічний час. Перенасичення DO, можливо, зумовлене інтенсивним фотосинтезом внаслідок збагачення поживними речовинами (азотом та фосфором), сонячного світла та умов низької витрати [22].

За результатами тестового впровадження системи SmartWater було встановлено, що якість даних зчитування необробленого датчика не є ідеальною, навіть якщо калібрування проводилося до розгортання.

У рідкісних випадках деякі датчики в середині приладу працювали неправильно, що призвело до аномальних показників, таких як різкі падіння рН 26-27 квітня та 8 травня, 2019 року. Аномальні показники датчика були позначені як аномальні значення і замінені лінійною інтерполяцією значень сусідніх значень.

Що стосується забруднення робочих поверхонь датчиків, ця проблема вирішувалася періодичним очищенням прибору. Зрозуміло, що в умовах неконтрольованого середовища необхідно шукати варіанти, які б дозволили використовувати прилад максимально довго без додаткових ручних маніпуляцій з очищенням.

Запропонована система моніторингу якості води орієнтована на специфічні дані, які дозволяють використовувати відомі алгоритми, що найкраще підходять для постійних джерел даних про якість води в режимі реального часу. Цей підхід повністю впроваджено та успішно пройшов бета-тестування на кількох екологічно чутливих ділянках річки Сіверський Донець, Україна протягом 2019-2020 років. Було проведено серію випробувань трьох занурювальних пристроїв та одну базову станцію в Луганській області (міста Рубіжне та Сєверодонецьк).

Висновки до розділу 5

Дослідження розширює поточні зусилля, спрямовані на залучення індивідуальних рішень Інтернету речей для кращого приладобудування та постійної інтеграції даних датчиків у мережі. Описано процес проектування системи та базові компоненти системи моніторингу якості води на основі IoT для поверхневих вод. Хоча основна увага в розділі приділяється проектуванню системи, можливості вдосконалення системних компонентів для управління водними ресурсами за допомогою постійного моніторингу якості води набагато ширші. З цієї точки зору також обговорюються перспективи та проблеми розвитку моніторингу якості води на основі IoT.

Отримані результати підтверджують, що нові рішення щодо передачі, зберігання та обробки даних за допомогою комбінації IoT дозволяють краще зрозуміти джерела різних забруднювачів води, наслідки політики контролю води та вплив різних речовин у джерелах води. Однак, щоб отримати більш ефективну систему, багато питань та завдань слід вирішувати далі, серед них:

1) вартість рішень IoT (початкові витрати, вартість датчиків, приладів та технологій з підтримкою IoT для моніторингу та зберігання в реальному часі в хмарі або віддалених центрах для аналізу). На даний момент вартість користувальницького занурювального пристрою коливається в межах 150-600 євро, що є одним з основних обмежень для широкого поширення;

2) сумісність пристроїв різних виробників або навіть однієї марки з різними протоколами;

3) наявність надійної електроенергії та мобільного Інтернету для моніторингу води на основі IoT;

4) проблеми безпеки (відсутність безпечної та належним чином зашифрованої мережі, прийняття IoT може призвести до проблем безпеки та вразливостей). На етапі тестування у нас не було жодного інциденту з безпекою, але для комерційного використання безпека повинна бути одним з головних пріоритетів;

5) відсутність висококваліфікованих фахівців у створенні та обслуговуванні систем.

Ще однією проблемою, яка виникла на етапі тестування системи, було управління даними датчиків у реальному часі. Складність виникла внаслідок різних тестових зондів, а також методів передачі та обробки даних. Тому в майбутньому планується використовувати гібридний підхід з ефективною технологією стиснення для управління та фільтрації даних у реальному часі для зменшення вартості передачі в мережевому рівні. Для вирішення проблеми ефективного збору, зберігання та передачі даних з великої кількості вихідних вузлів планується використовувати моделі стиснення зондування. Що стосується переваг моделей вимірювання стиснення, планується використовувати цю техніку для наступного покоління SmartWater.

Результати розділу опубліковано в роботах автора [1, 5, 6, 11-13, 16-18 (Додаток А)]

Література до розділу 5

1. Adamo F., Attivissimo F., Carducci C. G. C. and Lanzolla A. M. L. (2015) A Smart Sensor Network for Sea Water Quality Monitoring, in *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 5, pp. 2514-2522, May 2015, doi: 10.1109/JSEN.2014.2360816.

2. Alshattawi S. K. (2018) Smart Water Distribution Management System Architecture Based on Internet of Things and Cloud Computing, in *Proc. IEEE Intern. Conf. on new trends in computing sciences*, pp. 289- 294.
3. Blackstock M. and Lea R., IoT mashups with the WoTKit, 3rd International Conference on the Internet of Things (IOT), pp. 159-166, October 2012. DOI: 10.1109/IOT.2012.6402318
4. Candès E.J. (2006) Compressive sensing. *International Congress of Mathematicians*. vol. 3, pp. 1433-452.
5. Chen, Y., Han D. (2018). Water quality monitoring in a smart city: a pilot project. *Automation in Construction*, vol. 89, pp. 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.008>
6. Donoho D.L. (2016) Compressed sensing. In: *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306.
7. Defining your IoT governance practices, IBM Developer, 2019. Режим доступа: <https://developer.ibm.com/articles/iot-governance-01/>. (16.11.2020).
8. Goib W., Yudi Y., Dewa P., Iqbal S., Dadin M. (2015) Integrated online water quality monitoring. In: *International conference on smart sensors and application*, 26–28 May 2015.
9. Guinard D., Trifa V., Wilde E. (2010) A resource oriented architecture for the web of things, Internet of Things (IOT), November-December 2010. DOI: 10.1109/IOT.2010.5678452
10. Ji Y., Bockelmann C., Dekorsy A. (2015) Compressed sensing based multi-user detection with modified sphere detection in machine-to machine communications. *International ITG Conference on Systems, Communications and Coding*. pp. 1-6.
11. Lee H., Lee N. (2016) A Compressive Sensing-based Data Processing Method for Massive IoT Environments. In *IEEE Conference ICTC*. 2016. pp. 1242-1246.
12. Niel A.C., M. Reza, N. Lakshmi (2016) Design of Smart Sensors for Real Time Water Quality Monitoring. *Journal IEEE Access* vol. 4, pp. 3975–3990.

13. Pintus A., Carboni D., Piras A. (2012) Paraimpu: a platform for a social web of things, 21st International conference companion on World Wide Web. ACM, pp. 401-404, April 2012. Режим доступа: <https://www2012.universite-lyon.fr/proceedings/companion/p401.pdf> (20.10.2020).

14. Prehoferand C. and Chiarabini L. From Internet of things mashups to model-based development. *IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference*, pp. 499-504, September 2015. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2015.263>

15. Pule M., Yahya A., Chuma J. (2017) Wireless Sensor Network: A survey on monitoring water quality, *Journal of Applied Research and Technology*, vol.15(6), pp. 562-570.

16. Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Biloborodova T. (2019) IoT based Water Quality Monitoring System in *Internet of Things for Industry and Human Applications. Volume 3. Assessment and Implementation. IoT for Ecology, Safety and Security Monitoring Systems*. Section 49. / Ed. V. S. Kharchenko. – Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019, pp. 627-671.

17. SkargaBandurova I., Velykzhanin A., Nesterov M. (2019) Basic concepts and approaches to development and implementation of IoT. In *Internet of Things for Industry and Human Applications. Volume 2. Modelling and Development. Development and implementation of IoT based systems*. Section 28. / Ed. V. S. Kharchenko. – Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019, 5, pp. 403-435.

18. Smart Sensors for Real-time water quality monitoring. Mukhopadhyay S.C., Mason A. (Eds.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

19. Trojer T., Fung B. C. M., and Hung P. C. K., Service-oriented architecture for privacy-preserving data mashup, in *Proc. IEEE Int. Conf. Web Services*, 2009, pp. 767-74.

20. Uchihira N. (2019) Strategic IoT Management, Minerva Shobo, 2019.

21. Uchihira N. (2018) Innovation Design in the IoT Era, *Research, Technology, Planning*, 2018. Vol.33, No.4, pp. 334-344.

22. Wagner R., Mattraw H., Ritz G., Smith B. (2000) Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Site Selection, Field Operation, Calibration, Record Computation, and Reporting, *US Geol. Surv. Water Resources Investig.* Режим доступа: https://www.wou.edu/las/physci/taylor/luck/water_qual_sensor.pdf (20.10.2020).

23. Water Quality Monitoring for Water Quality Surveillance and Response Systems. Режим доступа: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/online_source_water_monitoring_guidance.pdf (20.10.2020).

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей. Виділено особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод, розглянуто передумови використання IoT для моніторингу річок та систем розподілу води.

2. Вперше запропоновано метод розташування датчиків, який на відміну від відомих, поєднує технологію розташування на основі ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування. Метод базується на евристиці з жадібним пошуком, що використовує властивості ентропії щодо максимальності, субадитивності та двозначності, при цьому ентропія визначається як відношення довжини зондування до довжини водотоку і максимізується на мережевий рівень.

3. Удосконалено модель мережі IoT датчиків, за рахунок компоненти урахування глибини занурення приладів IoT, що дозволяє врахувати наявність підводних вузлів і визначати місця розташування поверхневих та підводних вузлів.

4. Набула подальшого розвитку технологія обробки даних на основі автоматичного вилучення ознак шляхом застосування методу головних компонент, для вирішення задачі визначення типів датчиків, використовуваних в IoT пристроях контролю якості води, що дозволяє виконати обґрунтований вибір параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків.

5. Удосконалено методологію обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, шляхом систематизації процесів комплексного аналізу і прогнозування, що дозволяє сформулювати і реалізувати системний підхід до оцінювання залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів, характерних для досліджуваної

ділянки, та проводити прогнозування змін гідрохімічних показників вод в довготривалій перспективі.

6. Набула подальшого розвитку технологія проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT, за рахунок адаптації технології SCAI та mash-методології до задач предметної області, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень щодо створення базової конфігурації IoT системи, починаючи з ціннісної пропозиції, що є особливо важливим для експертів предметних областей, які не стосуються інформаційних та комунікаційних технологій.

7. Достовірність отриманих результатів підтверджується обґрунтованістю допущень, коректним обранням математичного апарату та результатами практичних впроваджень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що основні наукові положення дисертації реалізовані у виді розрахункових моделей, методів, а також відповідних програмних засобів, які створюють прикладну інформаційну технологію розробки і впровадження IoT систем моніторингу водних об'єктів, і дозволять на практиці виконувати моніторинг поверхневих вод в режимі реального часу, з застосуванням запропонованих процесів підтримки прийняття рішень щодо організації системи моніторингу, передачі, зберігання та обробки даних за допомогою IoT, для кращого розуміння джерел різних забруднювачів води, наслідків політики контролю вод та впливу різних речовин у джерелах води.

8. Запропоновані наукові й практичні результати апробовано на наукових конференціях та впроваджено у ТОВ Науково-виробниче підприємство «Зоря» та КП "Рубіжанське виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства" Рубіжанської міської ради.

Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку вдосконалення комплексу моделей і методів, які дозволять удосконалити процеси підтримки прийняття рішень для інтеграції впроваджених систем моніторингу водних об'єктів на основі IoT в глобальну систему моніторингу поверхневих вод.

ДОДАТОК А
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Velykzhanin A., Barbaruk L., Suvorin O., Shorohov M. “Emerging Tools for Design and Implementation of Water Quality Monitoring Based on IoT”, *Complex Systems Informatics and Modelling Quarterly*. Published online by RTU Press, <https://csimq-journals.rtu.lv> Article 138, Issue 24, September/October 2020, pp. 1–14, 2020 <https://doi.org/10.7250/csimq.2020-24.01>.

2. Krytska Y.O., Biloborodova T.O., Skarga-Bandurova I.S. “Data mining techniques for IoT analytics”. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. Сєвєродонецьк : СНУ ім. В. Даля, № 5 (253), с. 53-62. 2019. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-253-5-53-62.*

3. Критська Я.О. “Моніторинг та раціональне використання водних ресурсів у реаліях сьогодення”. *Екологічні науки : науково-практичний журнал. / Головний редактор О.І. Бондар. – Київ: ДЕА, № 1(24). Т. 2, с. 160-163. 2019. DOI: 10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-31.*

4. Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С., Топчій А.О. “Методи і моделі збору та обробки даних в системах моніторингу водних об’єктів заснованих на IoT”. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, № 6 (247), с. 205-209. 2018.*

5. Критська Я.О., Великжанін А.Ю., Скарга-Бандурова І.С., Суворін О.В. “Методологія розробки системи онлайн моніторингу поверхневих вод”. *Наукові вісті Далівського університету: Електронне наукове фахове видання, № 13. 2017.* Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_13_6.

6. Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Shorohov M., Suvorin O., Barbaruk L., Ozheredova M. “Towards Development IoT-based Water Quality Monitoring System”, *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, pp. 140-145, 2019. doi: 10.1109/FiCloudW.2019.00038.

7. Y. Krytska, I. Skarga-Bandurova, A. Velykzhanin “IoT-based Situation Awareness Support System for Real-Time Emergency Management.” *Intelligent Data*

Acquisition and Advanced Computing Systems: *Technology and Applications (IDAACS)*, 2017 9th IEEE International Conference. IEEE, 2017. Vol. 2, pp. 955-960. 2019. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095228.

8. Skarga-Bandurova I., Krytska Y.O., Barbaruk L.V. “Application of Internet of Things for long term water quality monitoring”, *Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси дев'ятнадцятої міжнар. наук.-техн. конф.*, Харків: НТУ “ХПІ”, С. 77, 2019.

9. Skarga-Bandurova I., Krytska Y. “IoT-based analytics in water quality monitoring system”. *Сучасні технології в освіті та науці: матеріали міжнар. конф. (Севєродонецьк, 5–7.03.2019 р.)* – Севєродонецьк: СХУ ім. В. Даля, с. 102-104. 2019.

10. Krytska Y., Biloborodova T., Skarga-Bandurova I. “Real-Time Data Analytics for the Internet of Things”. *In: Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the III International Conference TACSIT-2019, May 8-9 2019, Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, pp. 37-39. 2019.

11. Критська Я.О., Скарґа-Бандурова І.С. “Модель реалізації взаємодії різних IoT платформ для моніторингу водних об'єктів”. *Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі. Матеріали XII Всеукраїнської науково практичної WEB конференції аспірантів, студентів та молодих вчених (20-22 березня 2019 р.)* – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, с. 122-124. 2019.

12. Krytska Y., Stewasher J. “Integrated Water Resources Management System”. *Сучасні технології в освіті та науці: матеріали міжнар. конф. (Севєродонецьк, 19-22.02.2018 р.)* – Севєродонецьк: СХУ ім. В. Даля, с. 47-48. 2018.

13. Критська Я.О., Топчій А.О. “Засоби он-лайн моніторингу поверхневих вод”. *IT-Ідея – 2018: збірник науково-практичних праць Севєродонецьк* : Вид-во Східноукр. ун-ту ім. В. Даля, с. 14-15. 2018.

14. Топчій А.О., Критська Я.О., Скарґа-Бандурова І.С. “Моделі виявлення випадків забруднення води на основі аномалій”. *Актуальні проблеми науково-*

промислового комплексу регіонів. *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, 23-27 квітня 2018 р., м. Рубіжне / А. С. Бушуєв., Ю. А. Завойських.* – Рубіжне: видавець О. Зень, с. 278-279. 2018.

15. Сіряк Р.В., Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С. “Прогнозування рівня збіднення води киснем з використанням модифікацій моделі Стрітера-Фелпса”. *Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the II International Conference TACSIT-2017, May 12-13, 2017.* – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. pp. 14-20. 2017.

16. Критська Я.О., Сіряк Р.В., Скарга-Бандурова І.С. “Система моніторингу водних об’єктів на основі IoT”. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017р.: у 4 ч. Ч. IV.* / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». с. 92. 2017.

17. Критська Я.О., Сіряк Р.В., Великжанін А.Ю. “Дослідницький проект The Smart Water”. *IT-Ідея – 2016: збірник науково-практичних праць* Сєверодонецьк: Вид-во Східноукр. ун-ту ім. В. Даля, с. 7. 2016.

18. Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Viloborodova T. (2019) “IoT based Water Quality Monitoring System” in *Internet of Things for Industry and Human Applications. Volume 3. Assessment and Implementation. IoT for Ecology, Safety and Security Monitoring Systems.* Section 49. / Ed. V. S. Kharchenko. – Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019, pp. 627-671.

19. Шорохов М.М., Суворин О.В., Ожередова М.А., Зубцов Є.І., Барбарук Л.В., Критська Я.О., Мочалов В.В. *Патент на корисну модель* “Спосіб сумісної утилізації відпрацьованих промивних вод, що містять сполуки шестивалентного хрому, та лужних стічних вод содового виробництва”. Державний реєстр патентів України на корисні моделі, реєстраційний номер: № 133168, 25.03.2019.

20. Суворин О.В., Ожередова М.А., Близнюк О.М., Шорохов М.М., Критська Я.О. “Хімічне осадження очищення води, що містить Cr (VI): вплив дозування Ca (OH) 2 та Ba (OH) 2 на ступінь очищення”. *Питання хімії та хімічної технології*, 2020. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-129-2-112-117.

ДОДАТОК Б

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

УЗГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
Східноукраїнського
національного університету
ім. Володимира Даля



Е.В. Потапенко

2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Комунального
підприємства "Рубіжанське
виробниче управління
водопровідно-каналізаційного
господарства" Рубіжанської
міської ради



П.А. Подхвятилин

«29» 08 2017 р.

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи
Критської Яни Олександрівни,
на КП «Рубіжанське ВУВКГ» Рубіжанської міської ради

від 29.08.2017 р.

№ 213/18

м. Рубіжне

Технічна комісія в складі:

Заступник директора по комерційним та

виробничим питанням -

Котляр Олег Сергійович

Начальник дільниці ОС –

Швець Світлана Володимирівна

Інженер-лаборант -

Степаненко Надія Петрівна

склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Критської Я.О.,
а саме:

- методика автоматизованого контролю поверхневих вод р. Сіверський Донець в контрольних точках;
- метод раннього розпізнавання невідповідностей системи екологічного управління та впровадження коригувальних та запобіжних заходів;
- модель для комплексної стратегії управління біологічними очисними спорудами підприємства, з урахуванням економічних і екологічних вимог;
- модель системи моніторингу каналізаційних мереж стічних вод;
- метод оцінки необхідності технічного обслуговування і ревізій обладнання і трубопроводів на підставі аналізу даних моніторингу стану стічних вод;
- інформаційна технологія підтримки природоохоронної діяльності підприємства в сфері охорони водних об'єктів;

використовуються на КП «Рубіжанське ВУВКГ» і реалізовані в наступних програмно-апаратних та технічних засобах:

- інтегрованої інформаційно-аналітичної системи оперативного контролю гідро - хімічних показників нормативно очищених стічних вод та їх впливу на поверхневі води р. Сіверський Донець в контрольних точках;
- автоматизованої паспортної системи підтримки прийняття рішень ділянки каналізації;
- автоматизованої паспортної системи підтримки прийняття рішень машиністами та операторами ділянок водопостачання і каналізації;
- автоматизованої паспортної системи відбору та контролю гідро - хімічних показників якості стічних, очищених і поверхневих вод;

Застосування запропонованих в роботі методик, моделей і методів дозволило:

1. Автоматизувати процес відбору і постійного контролю якості стічних вод, що надходять в мережі каналізації, до їх входу на біологічні очисні споруди підприємства, а саме:

- вибір переліку ключових параметрів контролю якості стічних вод для оцінки їх гідро-хімічного складу на досліджуваній ділянці каналізаційної мережі;
- збір і систематизація даних оцінки індивідуальних характеристик кожної з ділянок мережі;
- прогнозоване моделювання загального гідро-хімічного складу стічних вод на вході в очисні споруди підприємства;
- дослідження динамічних змін і моделювання варіативних наслідків фіксованих порушень;
- своєчасне виявлення і впровадження коригувальних та запобіжних заходів при виявленні невідповідностей (порушень технологічного процесу);
- виконання завдань оперативного контролю стічних вод, що надходять в каналізаційні мережі підприємства;
- можливість індивідуальної оцінки впливу кожної ділянки каналізаційної мережі;
- можливість мінімального попадання наднормативних стічних вод в змішувач аеротенків біологічних очисних споруд підприємства;
- оптимізацію ведення технологічного процесу очищення стічних вод;
- рівномірний і прогнозований склад стічних вод, які входять в змішувач аеротенків, і відповідно прогнозовану ефективність їх очищення.

2. Автоматизувати процес відбору і контролю стадій очищення стічних вод, з метою оперативного прийняття рішень про якість ведення технологічного режиму окремих стадій очищення, а саме:

- збір і систематизацію даних гідро-хімічного контролю якості промислових і господарсько-побутових стічних вод м. Рубіжне на кожній стадії їх очищення;
- збір і систематизацію даних гідро-хімічного контролю впливу водовипуску стічних вод на басейн р. Сіверський Донець в контрольних точках;
- перетворення даних в єдиний формат для використання в аналітичній системі підприємства;
- обробку даних за допомогою різних методів аналізу;
- можливість оперативного контролю і моделювання прогнозованої якості очищення вод на визначеній стадії біологічного очищення;
- контроль і розрахунок дозування біодобавок в аеротенки очисних споруд на основі автоматизованих оперативних даних замірів;
- забезпечення можливості автоматизованого контролю рівня кисню в технологічних стадіях очищення стічних вод (аеротенках та біоставках). Пропонує систему прийняття рішень про перехід на менш енерговитратні установки подання повітря;
- виконання відбору і контролю параметрів поверхневих вод р. Сіверський Донець у створах вище і нижче водовипуску нормативно очищених стічних вод підприємства та господарсько побутових стічних вод м. Рубіжне;
- постійний і оперативний контроль за станом поверхневих вод р. Сіверський Донець через мережі бездротових датчиків;
- формує єдине програмне забезпечення, єдині вимоги щодо обсягів і форматам зберігання інформації, форматам представлення результатів і звітностей, комплексної оцінки екологічного стану водних об'єктів; впливу всіх джерел водовипуску і візуального відображення рівня їх забруднення;
- забезпечити виконання вимог стандартів, норм державного і міжнародного законодавства в сфері охорони водних ресурсів;
- виконання вимог дозволу на спецводокористування;
- виконання вимог системи екологічного управління відповідно до серії міжнародних стандартів ISO 14000;
- забезпечити виконання щорічного «Графіка лабораторного контролю якості зворотних (стічних) вод Комунального підприємства "Рубіжанське виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства" Рубіжанської міської ради»;
- забезпечити виконання «Графіка лабораторного контролю якості поверхневих вод р. Сіверський Донець в контрольних створах Комунального підприємства "Рубіжанське виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства" Рубіжанської міської ради» і оцінити вплив вод, що скидаються на хімічний склад басейну річки.

3. Проводити постійний контроль за:

- дотриманням підприємством законодавства з охорони навколишнього природного середовища, встановлених екологічних нормативів, ПДС;
- ефективністю роботи споруд біологічного очищення стічних вод.

4. Автоматизувати виявлення джерел і розслідування причин наднормативного забруднення навколишнього природного середовища.

5. Забезпечити проведення постійного і оперативного обліку та аналізу скидів, розробку заходів щодо їх вдосконалення за рахунок впровадження системи підтримки прийняття рішень із застосуванням програмно-технічних засобів.

Концепція удосконалення природоохоронних заходів за рахунок використання інформаційних технологій доповідалася на розширеній нараді і схвалена технічною комісією КП «Рубіжанське ВУВКГ» 29.08.2017 р..

Заст. директора по КВП

О.С. Котляр

Начальник ділянки ОС

С.В. Швець

Інженер-лаборант

Н.П. Степаненко



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ



Проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародної діяльності Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля
О.І. Рязанцев
 2019 р.

АКТ

впровадження (використання) результатів
 дисертаційного дослідження Критської Яни Олександрівни в навчальний процес
 Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля

Цим актом підтверджується, що результати досліджень Критської Я.О., які проводились за науковим напрямом «Інформаційні технології в промисловості, екології, медицині» в межах науково-дослідної роботи «Проектування системи моніторингу та контролю водних об'єктів на основі технології інтернет речей» (№ Д.Р. 0116U005784), міжнародного проєкту Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications [AI.IOT] (573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-SBNE-JP) та тематичними планами науково-дослідних робіт Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля протягом 2016-2020 рр. впроваджені на кафедрі комп'ютерних наук та інженерії в процес підготовки бакалаврів та магістрів за напрямками «Комп'ютерні науки», «Комп'ютерна інженерія».

Впровадження результатів дисертаційної роботи полягає в їх використанні при викладанні навчальних дисциплін як окремих розділів лекційних курсів, так і в циклах практичних і лабораторних робіт.

Основні результати впровадження в курси дисциплін:

1. «Програмна інженерія та управління IT-проєктами» - матеріали для практичного засвоєння «Впровадження інформаційних технологій моніторингу та контролю водних об'єктів».
2. «IT аудит та управління ризиками на підприємстві» - введений теоретичний матеріал за темами «Автоматизація аудита в IT, програмні продукти для аналізу», «Вибір методів впливу на ризики при порівнянні їх ефективності» та матеріали для практичного засвоєння «Аналіз інструментальних і програмних засобів інформаційного забезпечення оцінки ризиків при проведенні аудитів», «Ризик як інформаційна модель оцінки небезпек».
3. «IT для моніторингу та моделювання» - матеріали для практичного засвоєння «Дослідження стратегій та механізмів прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами», «Компоненти та типологія систем обробки екологічної інформації».

Декан факультету інформаційних технологій та електроніки, к.т.н., доц.

С.О. Митрошін

Завідувач кафедри комп'ютерної інженерії,
 д.т.н., проф.

І.С. Скарга-Бандурова

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Східноукраїнського
національного університету
ім. Володимира Даля



О.Б. Целіщев

(підпис)

(печатка)

2021 р.

Директор з виробництва ТОВ
НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ
ПІДПРИЄМСТВО «ЗОРЯ»



С.В. Маєць

(підпис)

(печатка)

«22» січня 2021 р.

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи
Критської Яни Олександрівни

Технічна комісія в складі:

В.о. головного технолога -

Атаманичева Г.В.

(ПІБ)

Начальник ЦВтаК -

Хмельницький О.В.

(ПІБ)

Інженер з охорони

навколишнього середовища -

Зав'ялова О.М.

(ПІБ)

склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Критської Я.О. "Інформаційна технологія розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей" використано при проектуванні системи екологічного моніторингу та планування скидів зворотних (стічних) вод у поверхневі водні об'єкти.

Матеріали роботи, а саме:

- 1) технологія проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT;
- 2) модель розбудови мережі IoT датчиків;
- 3) метод розташування датчиків за принципом поєднання розрахунку ентропії мережі, що визначається відношенням довжини зондування до довжини водотоку та процедури повторного використання наявних в мережі датчиків;
- 4) технологія обробки довготривалих статистичних даних, аналізу та прогнозування якості поверхневих вод;

реалізовані та впроваджені у вигляді програмно-апаратних та технічних засобів системи контролю скидів стічних вод.

Застосування запропонованих в роботі моделей, методів і технологій дозволило:

1) Скоротити час на розробку конфігурації та структурних компонент системи моніторингу за рахунок формалізації базових процедур проектування.

2) Автоматизувати процес організації спостережень за якістю поверхневих вод і обсягами скидів, а саме виконувати:

- вибір базових контрольованих параметрів (згідно їх значущості для вияву) та місць розташування;

- вибір локацій для розташування станцій моніторингу якості вод в режимі реального часу, із застосуванням інструментів доступу, зберігання, обробки даних, візуалізації;

- оцінку поточного стану води й змін, що відбуваються в режимі реального часу, а також на основі показників і оцінок впливів для кожного періоду визначення відповідних процедур частоти вимірювань;

- спостереження з урахуванням гідрометричних умов і морфологічних об'єктів водної системи водосховища, даних наявності джерел забруднення антропогенного впливу, обсягу і параметрів складу, сезонних впливів;

- виявлення інцидентів забруднення вод;

- моніторинг загроз та оцінка довгострокових тенденцій якості води внаслідок природних змін та антропогенного впливу.

3) Автоматизувати процес збору та обробки даних спостережень, з метою здійснення гідро-хімічного контролю якості вод в режимі реального часу та оперативного прийняття рішень щодо експлуатаційних режимів, а саме:

- збір даних вимірювання обраних параметрів за допомогою занурених датчиків по технології інтернет речей (IoT);

- дотримання вимог періодичності і частоти проведення контролю показників якості вод;

- забезпечення оперативного і автоматизованого збору даних гідрохімічного контролю якості вод у маркерних місцях;

- моніторинг поширення і трансформації забруднюючих речовин;

- відстеження динаміки кількісних характеристик складу вод, оперативному реагуванню / коригуванню режимів роботи на різкі зміни складу, зміни сезонних характеристик, тощо;

- оповіщення про порушення якісного складу вод;

- забезпечення достовірності й точності результатів оцінки, які випадають із загальної (сумарної) картини спостережень (пікові, кількісні, невластиві для оцінюваної ділянки);

- забезпечення розуміння взаємозв'язків між якістю води та необхідністю її коригування на підставі моніторингових даних у режимі реального часу для виявлення якісних змін водойми, і як наслідок, процесу прийняття рішень щодо очищення від забруднюючих речовин;

– візуалізації даних як точкового контролю, так і відображення сумарної картини стану об'єкта.

4) Проводити аналіз даних і прогнозування загроз у довгостроковій перспективі, та забезпечити підтримку прийняття рішень при розробці заходів щодо їх вдосконалення.

Результати тестового впровадження системи екологічного моніторингу та планування скидів зворотних (стічних) вод у поверхневі водні об'єкти на основі технології IoT доповідалася на розширеній нараді і схвалена технічною комісією ТОВ НВП «Зоря» «12» листопада 2020 р.

Технічна комісія в складі:

В.о. головного технолога -


(підпис)

Атаманичева Г.В.

(ПІБ)

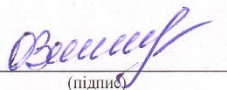
Начальник ЦВтаК -


(підпис)

Хмельницький О.В.

(ПІБ)

Інженер з охорони
навколишнього середовища -


(підпис)

Зав'ялова О.М.

(ПІБ)

ДОДАТОК В

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ВПЛИВУ СЕЗОНУ

В.1 Статистична обробка даних масиву середньодобової температури повітря в точці виміру показників якості поверхневих вод

Аналіз рівня середньодобової температури повітря в точці виміру показників якості поверхневих вод (район басейну річки Дон, код типу масиву UA_R_16_XL_1_SI, номер масиву UA_M6.5.1_0007, розташування по висоті - низовинне, геологія - силікатні, точка забору 444 км) за період 2010-2017 років за часовим розподілом по місяцях та роках.

Таблиця В.1 - Кількість вимірів середньодобової температури повітря в точці виміру якості вод

Місяць	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	загалом
Січень		31	31	29	31	31	31	31	215
Лютий		28	28	28	28	28	29	28	197
Березень		31	31	30	31	31	31	31	216
Квітень		30	29	30	30	30	30	30	209
Травень		31	31	31	31	31	31	31	217
Червень		30	30	30	30	30	30	30	210
Липень	2	31	31	31	31	31	31	31	219
Серпень	31	31	31	31	31	31	31	31	248
Вересень	30	30	28	30	30	30	30	30	238
Жовтень	31	31	31	31	31	31	31	31	248
Листопад	30	30	30	30	30	30	30	30	240
Грудень	30	31	30	31	31	31	31	31	246
Загалом	154	365	361	362	365	365	366	365	2703

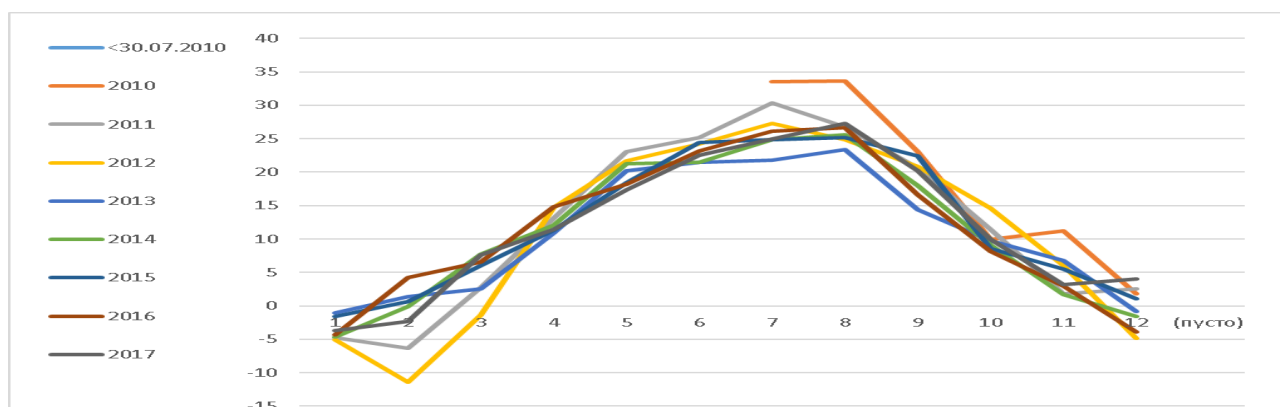


Рисунок В.1 - Порівняльний розподіл середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за роками

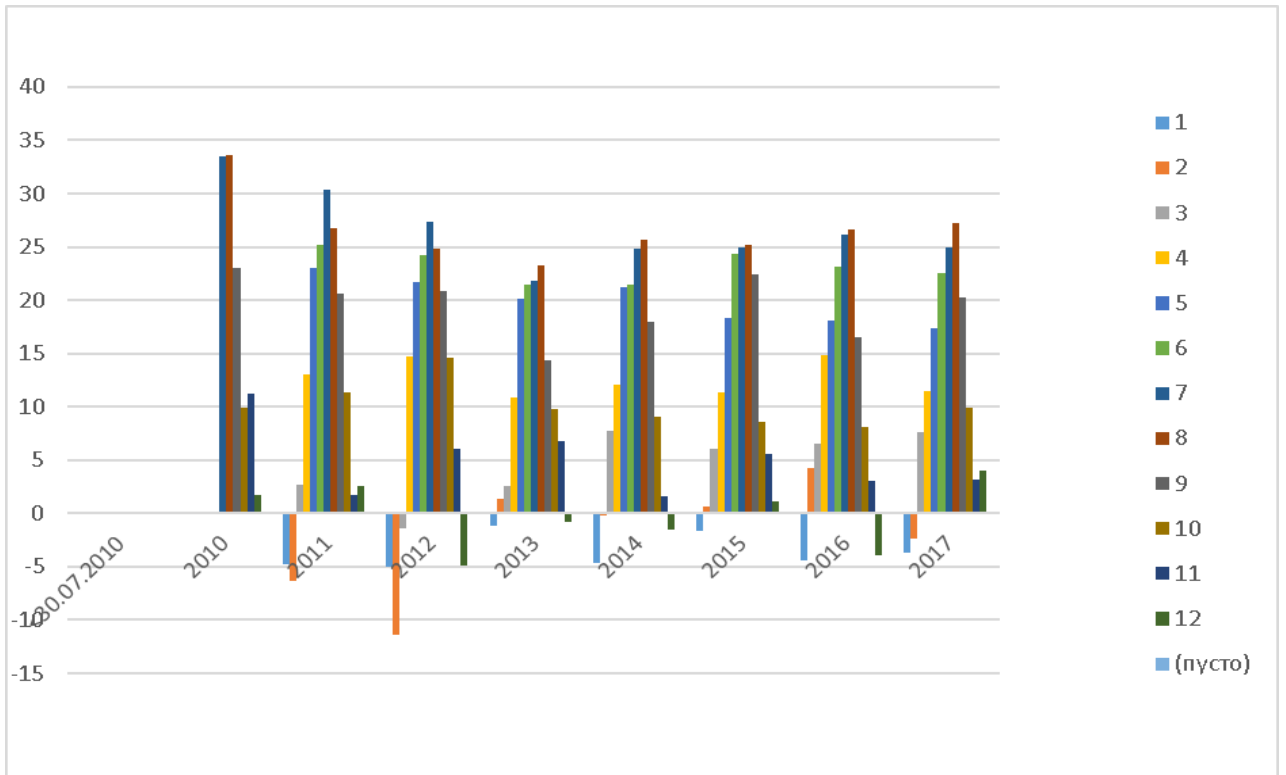


Рисунок В.2 - Порівняльна діаграма розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за роками

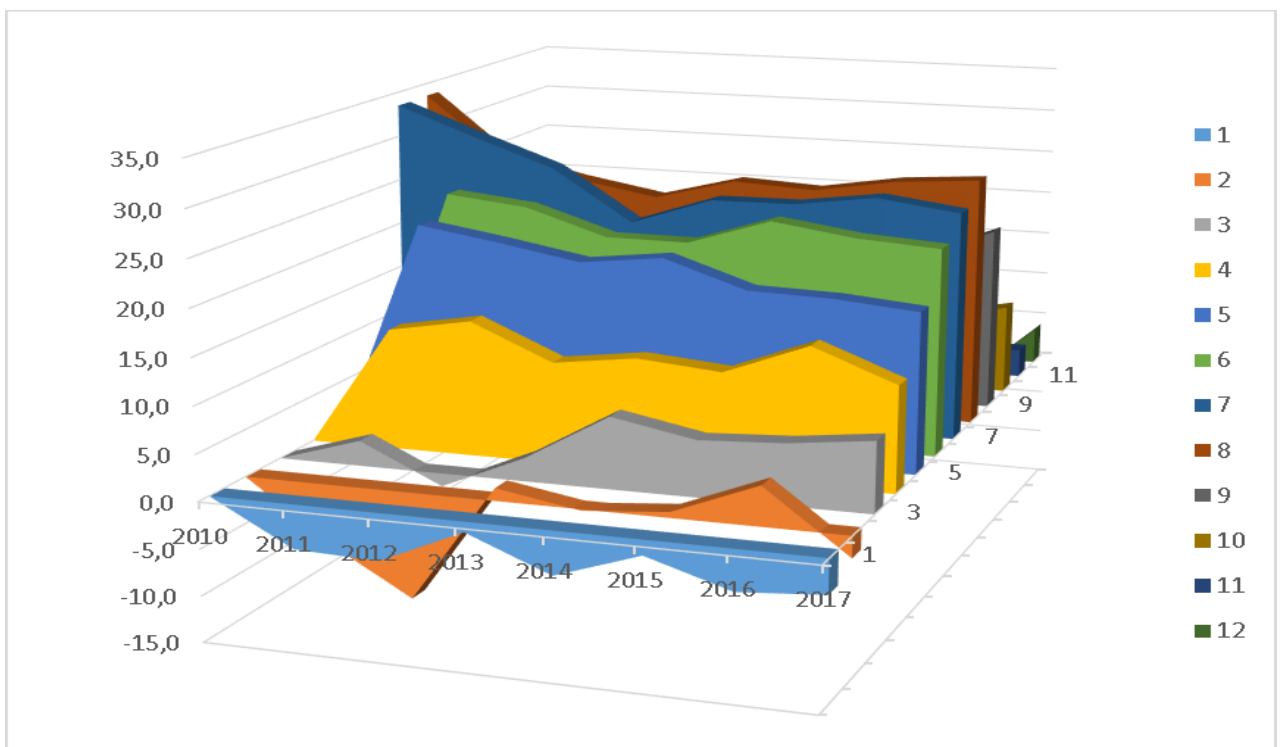


Рисунок В.3 - Об'ємна порівняльна діаграма розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

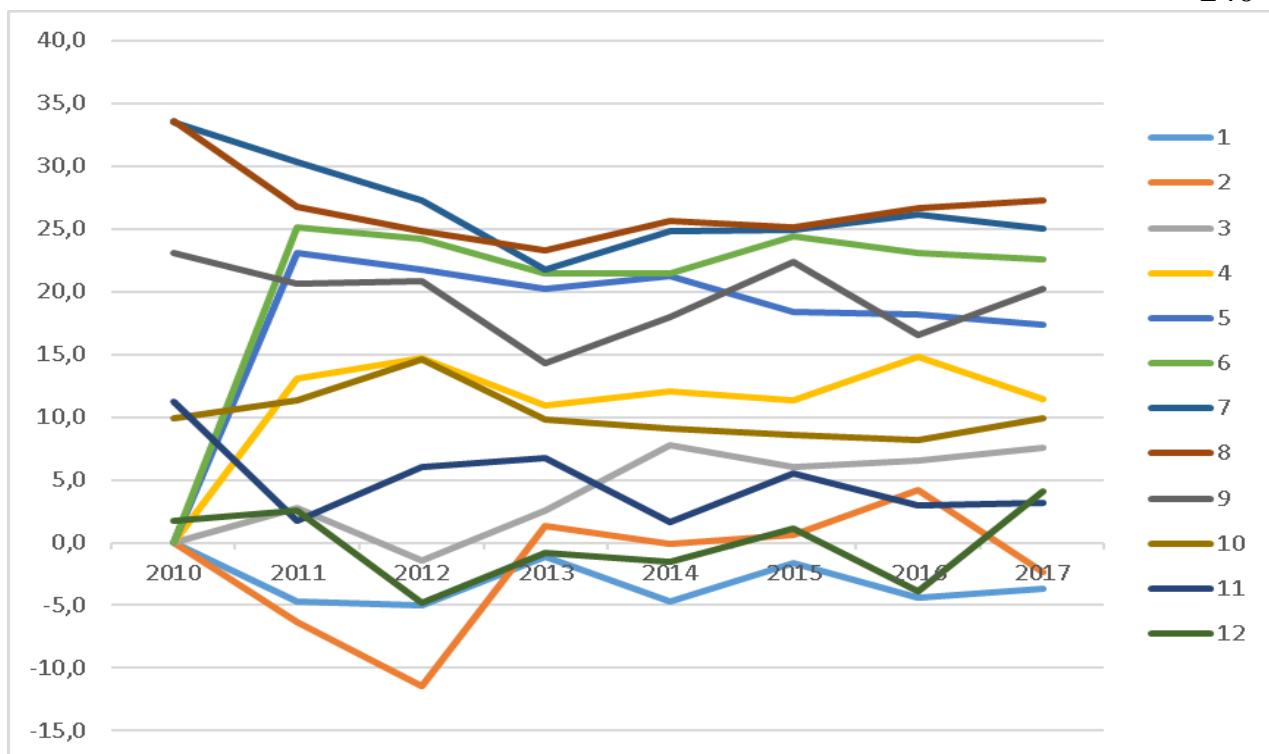


Рисунок В.4 - Порівняльний графік розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

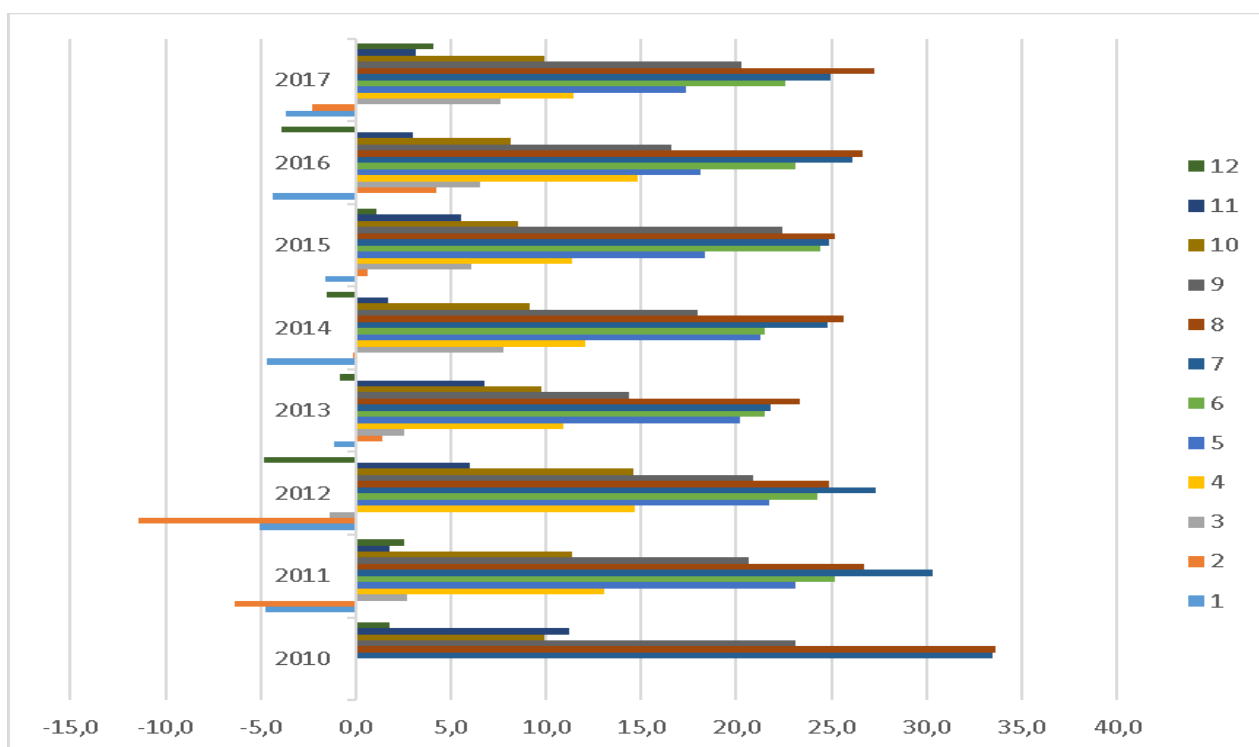


Рисунок В.5 - Порівняльна діаграма розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

Порівняльний аналіз даних температурного скринінгу в точці виміру по погодних сезонах показав, що найспекотніше літо було в 2010 році - липень (33,5 °С) і серпень (33,6

$^{\circ}\text{C}$), а найпрохолодніше в 2013 році - холодне спостерігається липень ($21,8^{\circ}\text{C}$) і серпень ($23,3^{\circ}\text{C}$). І відповідно раніше прийшла зима за температурними показниками в 2012 році (грудень - $(-4,9)^{\circ}\text{C}$ та 2016 році - $(-3,9)^{\circ}\text{C}$), й відповідно найхолоднішою вона була у 2012 році (лютий - $(-11,4)^{\circ}\text{C}$), а більш теплою у 2016 році - лютий $4,2)^{\circ}\text{C}$.

Таблиця В.2 - Розподіл середньодобової температури повітря в точці виміру якості

вод

Среднее по полю Ср_добова температура												
Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010							33,5	33,6	23,1	9,9	11,2	1,8
2011	-4,7	-6,3	2,7	13,1	23,1	25,2	30,3	26,7	20,7	11,4	1,8	2,5
2012	-5,0	-11,4	-1,4	14,7	21,7	24,2	27,3	24,8	20,9	14,6	6,0	-4,9
2013	-1,1	1,4	2,5	10,9	20,2	21,5	21,8	23,3	14,4	9,8	6,7	-0,8
2014	-4,7	-0,1	7,7	12,1	21,2	21,5	24,8	25,6	18,0	9,1	1,7	-1,5
2015	-1,6	0,6	6,0	11,3	18,4	24,4	24,9	25,2	22,4	8,6	5,5	1,1
2016	-4,4	4,2	6,5	14,8	18,1	23,1	26,1	26,6	16,6	8,1	3,0	-3,9
2017	-3,7	-2,3	7,6	11,4	17,4	22,6	25,0	27,3	20,2	9,9	3,2	4,0

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю середньодобова температура повітря

Подивимось як розподілені значення параметрів температури за період 2010-2017 років у часовому просторі от рока в рік, від місяця в місяць. Для цього розрахуємо середньо квадратичне відхилення вибірки.

Таблиця В.3 - Розподіл стандартного відхилення вимірів середньодобової температури повітря в точці виміру якості вод

Стандартне відхилення												
Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010							3,54	5,94	5,24	3,47	4,89	4,86
2011	3,82	5,92	5,15	5,37	4,70	3,71	4,21	5,01	4,14	5,91	3,75	2,89
2012	7,17	8,24	4,90	5,46	5,42	5,81	3,98	6,19	4,02	5,85	4,38	7,83
2013	3,17	2,86	4,94	3,85	2,24	2,93	2,35	2,92	3,98	3,79	3,98	4,12
2014	8,08	5,31	4,64	5,84	4,61	3,44	3,13	4,03	3,91	5,78	5,09	6,11
2015	5,87	4,77	4,30	5,92	3,84	2,11	3,93	4,01	4,59	5,50	3,94	4,58
2016	7,83	3,86	3,72	3,55	2,71	5,13	3,98	4,08	5,14	6,13	5,93	4,16
2017	5,32	5,51	2,98	4,59	4,11	3,79	4,14	5,06	5,55	4,07	5,49	3,33

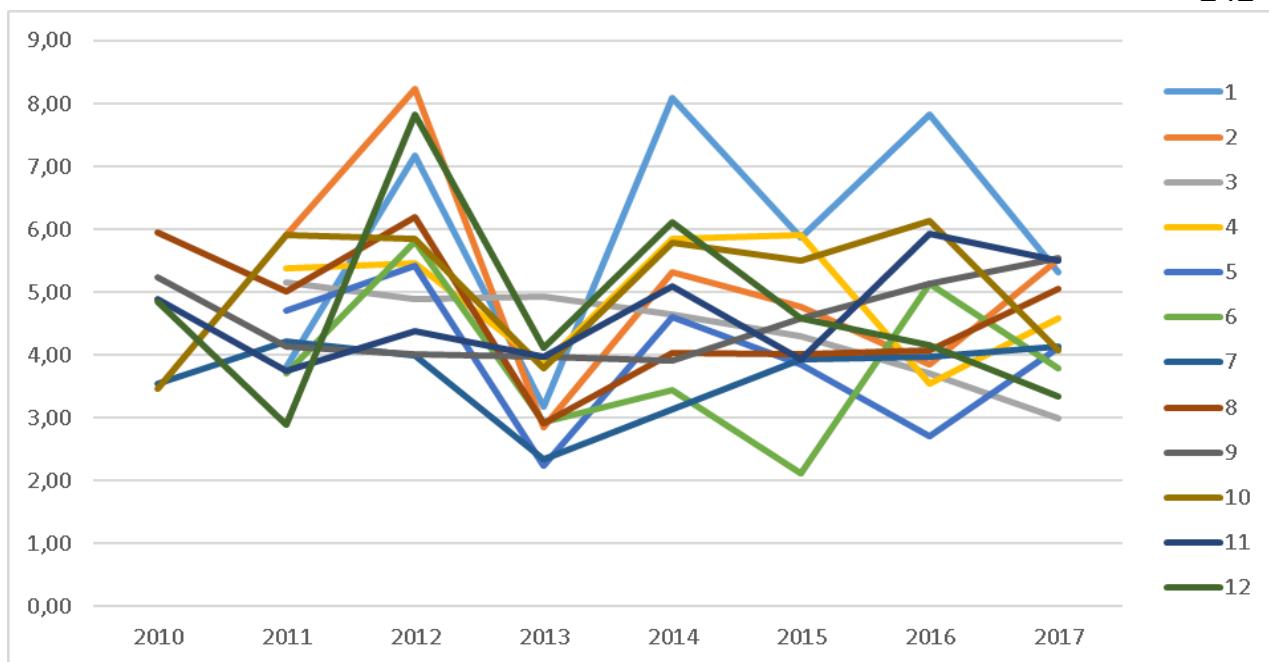


Рисунок В.6 - Порівняльний графік стандартного відхилення розподілу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за роками

Результат статистичного аналізу показав збільшений розкид значень показника середньодобової температури у зимовий період 2012 - у грудні, січні, лютому місяцях; у 2014 та 2016 роках - у січні місяці. Що говорить про велику варіабельність фактичного показника температури від року в рік, саме в зимовий період з амплітудою раз на два роки.

Зміщена дисперсія по полю «Середньодобова температура повітря»

Таблиця В.4 - Розподіл дисперсії вимірів середньодобової температури повітря в точці виміру якості вод

Дисперсія												
Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010							12,50	35,32	27,48	12,06	23,96	23,58
2011	14,56	35,02	26,55	28,85	22,13	13,80	17,74	25,08	17,18	34,96	14,06	8,33
2012	51,41	67,82	23,98	29,83	29,39	33,80	15,88	38,37	16,18	34,18	19,20	61,28
2013	10,06	8,16	24,37	14,83	5,03	8,59	5,51	8,54	15,81	14,33	15,81	17,01
2014	65,36	28,20	21,55	34,12	21,26	11,82	9,83	16,22	15,27	33,38	25,87	37,28
2015	34,50	22,75	18,51	34,99	14,77	4,44	15,47	16,08	21,03	30,28	15,50	20,99
2016	61,37	14,87	13,82	12,59	7,34	26,32	15,82	16,64	26,40	37,60	35,12	17,30
2017	28,31	30,40	8,91	21,05	16,86	14,39	17,14	25,63	30,82	16,60	30,18	11,11

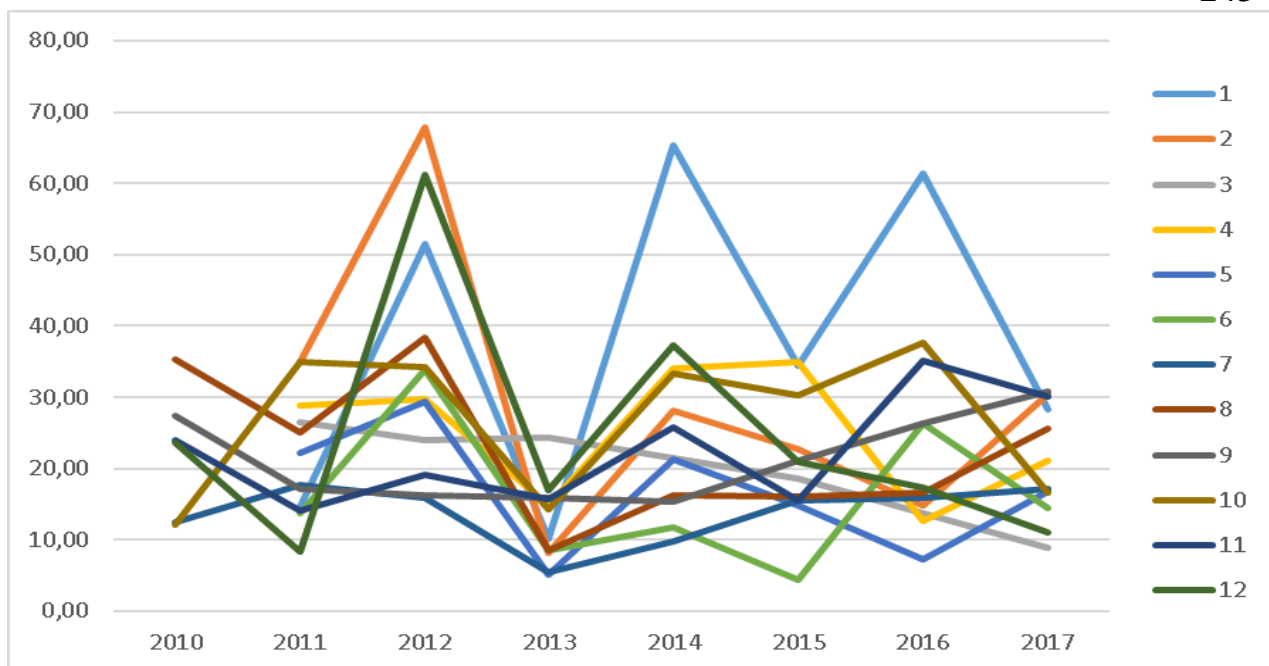


Рисунок В.7 - Порівняльна діаграма дисперсійного аналізу середньодобової температури повітря в період з 2010 року по 2017 рік за роками

Результат дисперсійного також підтвердив збільшений розкид значень температурного параметру і відповідно й засвідчив про наявність природніх ризиків.

В.2 Показник якості води - «температура води»

Таблиця В.8 - Кількість вимірів показника - температура води досліджуваного об'єкту

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загал підс
2007	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2008	31	29	21	22	22	21	23	21	22	23	20	23	278
2009	21	20	22	22	21	22	23	21	22	22	21	23	260
2010	21	20	23	22	21	22	22	22	22	21	22	23	261
2011	21	20	23	21	22	22	21	23	22	21	22	22	260
2012	22	21	22	21	23	21	22	23	6	6	4	5	196
2013	4	7	4	5	4	4	6	4	5	4	4	5	56
2014	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	52
2015	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	52
2016	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	52
2017	5	4	4	1									14
Загалом	168	162	164	156	157	156	160	159	142	141	136	145	1846

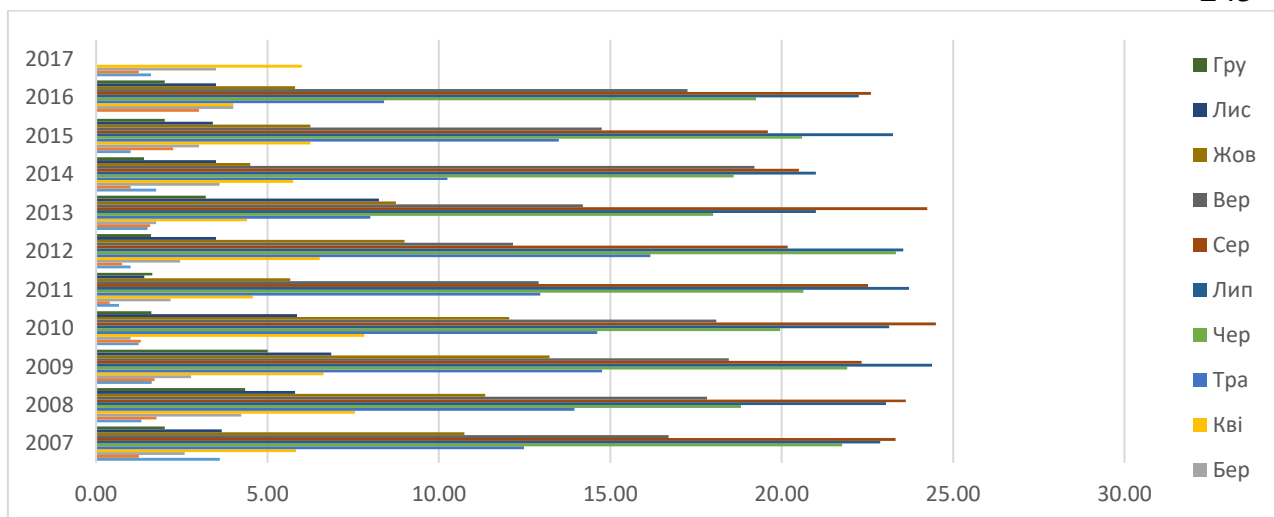


Рисунок В.10 - Порівняльна діаграма розподілу температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Результат статистичного аналізу показав збільшений розкид значень показника температури води у зимовий період 2011, 2012, 2016 років - у січні, лютому місяцях; у 2014 році - у січні місяці. Що говорить про велику варіабельність фактичного показника температури від року в рік, саме в зимовий період з амплітудою раз на два роки.

Також звертає увагу занижена лінія тренду вересня 2014, 2016 років від серед середньо очікуваних значень у відповідний період.

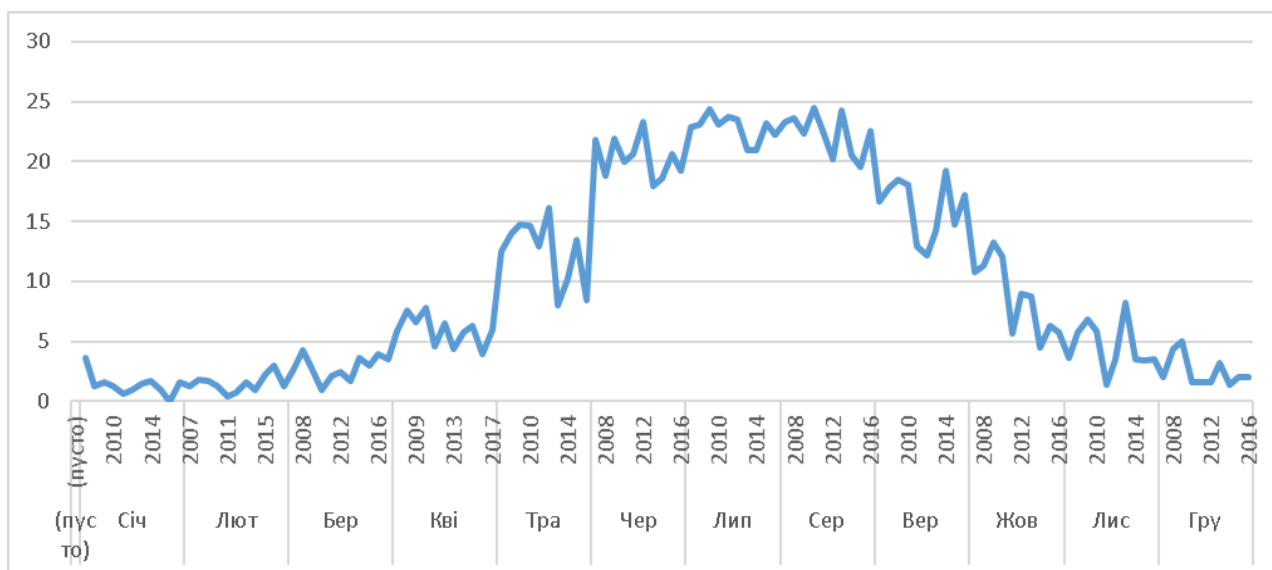


Рисунок В.11 - Порівняльний графік розподілу температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю показника значень - температура води

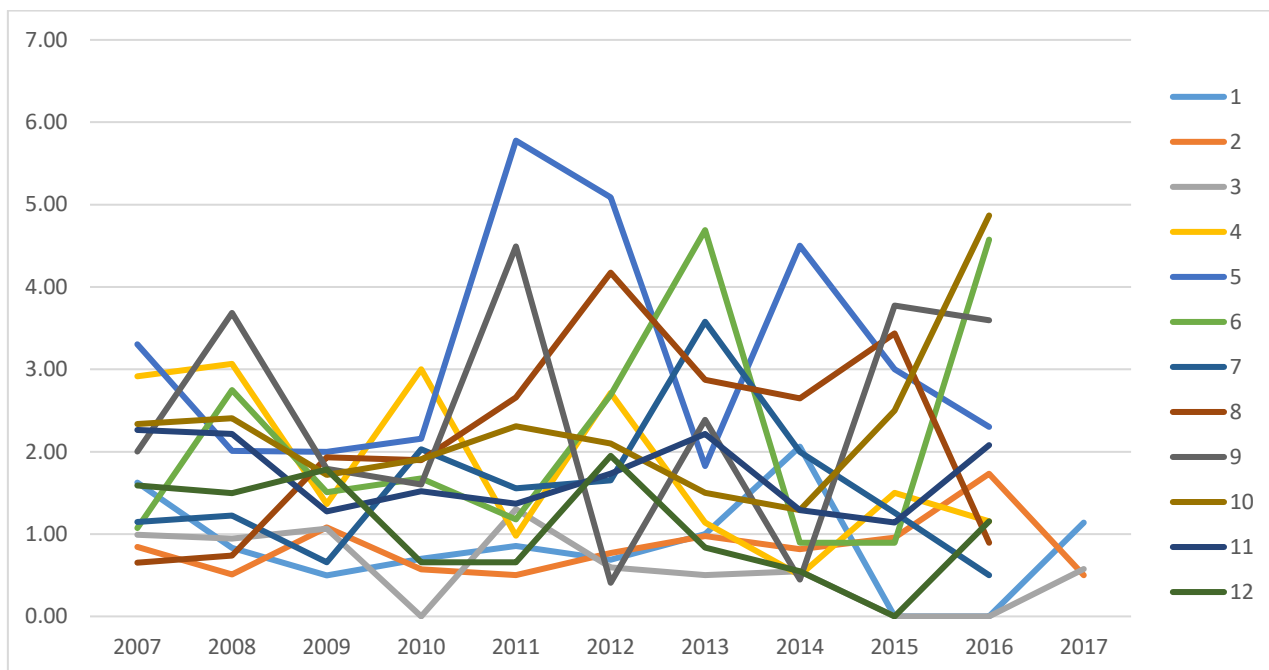


Рисунок В.12 - Порівняльний графік стандартного відхилення розподілу температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Таблиця В.10 - Розподіл стандартного відхилення вимірів температури води

Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2007	1,63	0,84	0,99	2,91	3,31	1,07	1,15	0,65	2,00	2,34	2,26	1,59
2008	0,83	0,51	0,94	3,07	2,01	2,75	1,22	0,74	3,69	2,40	2,21	1,50
2009	0,50	1,08	1,07	1,36	2,00	1,51	0,66	1,93	1,79	1,72	1,28	1,78
2010	0,70	0,57	0,00	3,00	2,16	1,68	2,03	1,90	1,60	1,91	1,52	0,66
2011	0,86	0,50	1,30	0,98	5,78	1,18	1,55	2,66	4,49	2,31	1,37	0,66
2012	0,69	0,77	0,60	2,71	5,09	2,69	1,65	4,17	0,41	2,10	1,73	1,95
2013	1,00	0,98	0,50	1,14	1,83	4,69	3,58	2,87	2,39	1,50	2,22	0,84
2014	2,06	0,82	0,55	0,50	4,50	0,89	2,00	2,65	0,45	1,29	1,29	0,55
2015	0,00	0,96	0,00	1,50	3,00	0,89	1,26	3,44	3,77	2,50	1,14	0,00
2016	0,00	1,73	0,00	1,15	2,30	4,57	0,50	0,89	3,59	4,87	2,08	1,15
2017	1,14	0,50	0,58									

Результат статистичного аналізу показав збільшений розкид значень показника температури води у травні - 2011, 2012, 2014 років, у червні - 2013, 2016 років, у вересні - 2011, 2015, 2016 років, у жовтні - 2016 року.

Така варіабельність фактичного показника температури від року в рік у весняно-осінній період, по деякі з послідовністю по два роки поспіль говорить про наявність адитивної сезонності фізичного показника якості води.

Зміщена дисперсія по полю значень показника - температура води

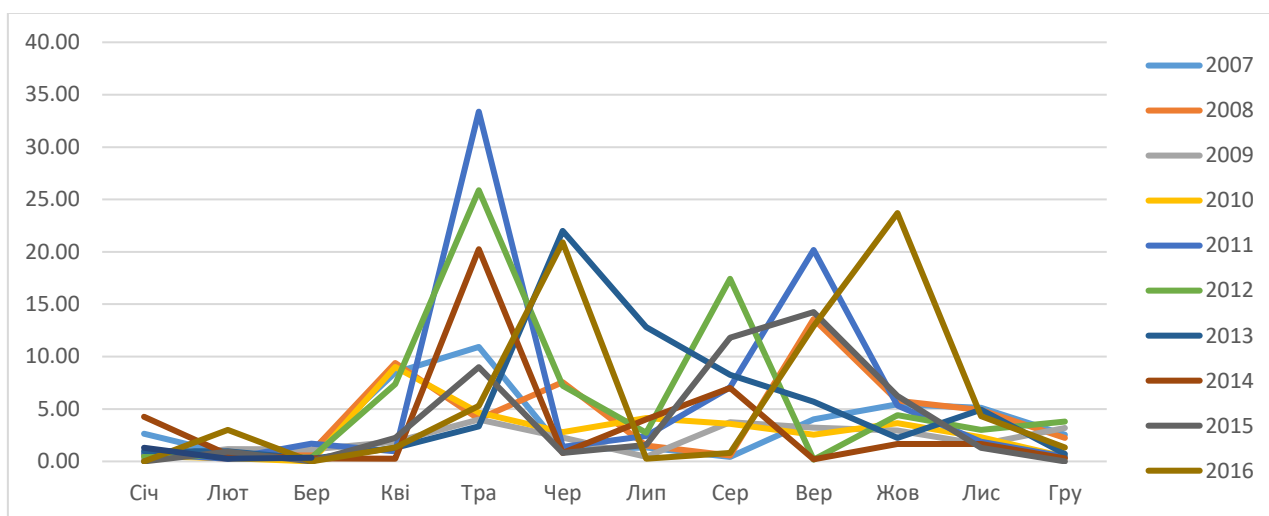


Рисунок В.13 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Таблиця В.11 - Розподіл дисперсії вимірів температури води

Місяць	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Січ	2,65	0,69	0,25	0,49	0,73	0,48	1,00	4,25	0,00	0,00	1,30
Лют	0,71	0,26	1,17	0,33	0,25	0,59	0,95	0,67	0,92	3,00	0,25
Бер	0,98	0,89	1,14	0,00	1,70	0,35	0,25	0,30	0,00	0,00	0,33
Кві	8,49	9,40	1,86	9,01	0,96	7,36	1,30	0,25	2,25	1,33	6
Тра	10,92	4,05	3,99	4,65	33,38	25,88	3,33	20,25	9,00	5,30	6
Чер	1,15	7,56	2,28	2,81	1,39	7,23	22,00	0,80	0,80	20,92	6
Лип	1,32	1,50	0,43	4,12	2,41	2,74	12,80	4,00	1,58	0,25	6
Сер	0,43	0,55	3,73	3,60	7,08	17,42	8,25	7,00	11,80	0,80	6
Вер	4,01	13,58	3,21	2,56	20,18	0,17	5,70	0,20	14,25	12,92	6
Жов	5,46	5,78	2,95	3,65	5,33	4,40	2,25	1,67	6,25	23,70	6
Лис	5,13	4,91	1,63	2,31	1,87	3,00	4,92	1,67	1,30	4,33	6
Гру	2,53	2,24	3,18	0,43	0,43	3,80	0,70	0,30	0,00	1,33	6
Загалом	72,30	66,32	70,01	77,45	81,48	90,73	64,94	65,81	66,98	71,38	2,55

Результат статистичного аналізу показав збільшений розкид значень показника середньої температури води у травні - 2011, 2012 й менше у 2014 роках, у червні - 2013, 2016 років, у вересні - 2011 років, у жовтні - 2016 року.

А у вересні - 2015, 2016 років навпаки не підтвердив випадковий характер значень показника.

В.3 Показник якості води - «кольоровість»

Кількість вимірів показника

Таблиця В.12 - Кількість вимірів показника - кольоровість в точці виміру якості вод

Colouriness	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	31	31	22	21	21	22	4	4	4	4	5	169
Лют	28	29	20	20	20	21	4	4	4	5	4	159
Бер	31	21	22	23	23	22	4	5	5	4	4	164
Кві	30	22	22	22	21	21	5	4	4	4	1	156
Тра	31	22	21	21	22	23	4	4	4	5		157
Чер	30	21	22	22	22	21	4	5	5	4		156
Лип	31	23	23	22	21	22	5	4	4	4		159
Сер	31	21	21	22	23	23	4	4	5	5		159
Вер	30	22	22	22	22	4	5	5	4	4		140
Жов	31	23	22	21	21	5	4	4	4	5		140
Лис	30	20	21	22	22	4	4	4	5	4		136
Гру	31	23	23	23	22	5	5	5	4	4		145
Загалом	365	278	261	261	260	193	52	52	52	52	14	1840

У табл. В.14 наведено розподіл значень параметрів кольоровості за період 2007-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

Таблиця В.14 - Розподіл показника кольоровості в точці виміру якості вод

Colourines	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Січ	26,29	20,65	15,81	20,78	14,81	14,41	24,55	21,03	18,43	16,18	18,22
Лют	24,46	21,90	21,26	20,46	15,45	12,00	21,73	21,03	17,93	17,54	18,25
Бер	23,87	21,19	19,20	19,02	14,52	14,85	17,75	19,44	19,66	19,45	17,83
Кві	29,50	18,98	20,20	19,29	12,00	18,29	17,04	19,73	17,30	19,40	17,60
Тра	33,87	17,16	19,09	20,10	12,46	17,88	17,08	20,73	19,60	19,84	
Чер	22,50	18,67	20,67	20,23	13,59	20,15	15,50	20,02	20,82	18,93	
Лип	20,00	18,76	19,61	18,14	16,64	20,83	19,60	20,85	20,55	18,93	
Сер	23,23	17,88	18,47	17,85	17,97	19,50	20,10	23,73	19,76	21,10	
Вер	20,33	15,85	19,84	19,75	18,25	19,10	19,92	22,88	19,80	20,15	
Жов	23,39	15,23	18,62	19,84	17,10	18,72	17,75	19,33	18,88	18,68	
Лис	25,00	13,16	20,74	18,65	14,60	21,70	19,80	18,53	18,56	18,88	
Гру	21,94	17,20	18,79	18,10	12,89	24,92	20,40	18,02	18,88	18,58	

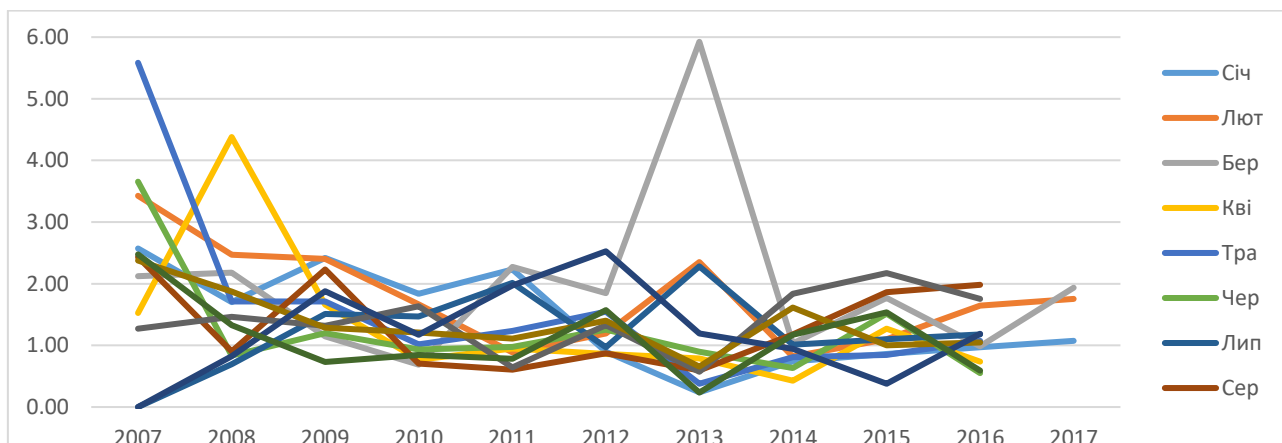


Рисунок В.16 - Порівняльний графіки стандартного відхилення розподілу показника - в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Зміщена дисперсія по полю значень показника - кольоровість води

Таблиця В.16 - Розподіл дисперсії вимірів показника - в точці виміру якості вод

Colouriness	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	6,61	11,74	4,52	2,33	31,18	13,36	0,00	5,91	1,61	5,65	0,00	6,13
2008	2,90	6,10	4,76	19,18	2,93	0,69	0,49	0,82	2,14	3,50	0,68	1,76
2009	5,86	5,78	1,31	2,76	2,93	1,44	2,27	4,97	1,73	1,65	3,53	0,53
2010	3,37	2,77	0,47	0,59	1,04	0,87	2,16	0,50	2,68	1,47	1,37	0,72
2011	4,98	0,79	5,16	0,90	1,52	0,95	4,05	0,36	0,41	1,23	3,89	0,61
2012	0,81	1,42	3,41	0,74	2,40	1,58	0,95	0,76	1,77	1,97	6,38	2,48
2013	0,06	5,54	35,10	0,62	0,14	0,81	5,21	0,35	0,33	0,43	1,42	0,05
2014	0,55	0,67	1,06	0,18	0,65	0,40	1,02	1,38	3,37	2,61	0,89	1,38
2015	0,74	1,21	3,13	1,62	0,71	2,29	1,20	3,46	4,72	1,00	0,14	2,36
2016	0,94	2,71	0,97	0,54	1,15	0,30	1,38	3,93	3,07	1,10	1,41	0,35
2017	1,16	3,07	3,75	#ДЕЛ/0!								

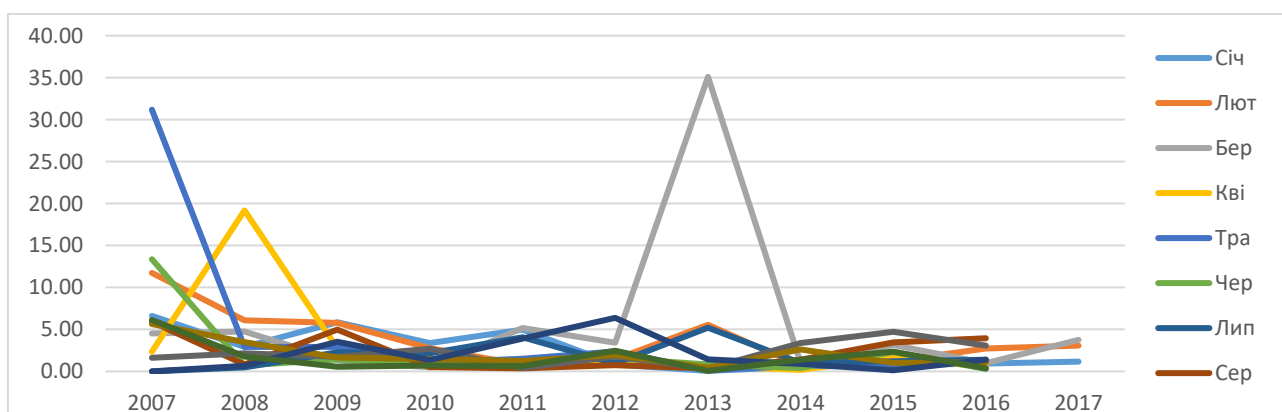


Рисунок В.17 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника - в період з 2007 року по 2017 рік за роками

В.4 Показник якості води - прозорість

Кількість вимірів показника

Таблиця В.17 - Кількість вимірів показника - прозорість в точці виміру якості вод

Місяць	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	31	31	22	21	21	22	4	4	4	4	5	169
Лют	28	29	20	20	20	21	5	4	4	5	4	160
Бер	31	21	22	23	23	22	4	5	5	4	4	164
Кві	30	22	22	22	21	21	5	4	4	4	1	156
Тра	31	22	21	21	22	23	4	4	4	5		157
Чер	30	21	22	22	22	21	4	5	5	4		156
Лип	31	23	23	22	21	22	5	4	4	4		159
Сер	31	21	21	22	23	23	4	4	5	5		159
Вер	30	22	22	22	22	5	5	5	4	4		141
Жов	31	23	22	21	21	5	4	4	4	5		140
Лис	30	20	21	22	22	4	4	4	5	4		136
Гру	31	23	23	23	22	5	5	5	4	4		145
Загалом	365	278	261	261	260	194	53	52	52	52	14	1842

Розподілення значення параметрів прозорості за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

Таблиця В.18 - Розподіл показника - прозорість в точці виміру якості вод

Transparency	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	23,32	24,10	24,09	20,48	18,81	21,41	24,75	24,00	19,25	20,00	19,80	22,17
Лют	24,64	24,48	24,00	22,09	18,50	23,67	25,00	24,00	22,25	20,20	19,00	22,97
Бер	21,94	15,52	24,68	23,91	19,22	24,68	24,00	23,60	19,80	20,50	20,25	21,71
Кві	17,93	22,09	24,91	17,50	18,14	24,57	24,40	24,00	23,50	20,50	20,00	20,95
Тра	18,39	23,68	24,95	17,95	20,50	24,78	25,00	24,50	23,00	20,00		21,68
Чер	24,73	25,00	24,41	17,91	20,64	25,00	23,50	24,40	23,80	20,50		23,04
Лип	24,39	25,00	24,43	21,68	23,48	24,86	23,20	23,25	23,75	20,75		23,88
Сер	27,65	24,95	24,00	23,27	23,78	25,00	22,50	23,00	23,60	20,60		24,67
Вер	24,17	25,00	23,73	23,41	23,68	24,80	22,00	23,40	21,75	19,50		23,75
Жов	24,55	25,00	24,27	20,76	23,71	25,00	23,75	25,00	21,75	19,80		23,64
Лис	24,53	24,90	23,29	20,64	24,27	24,75	24,00	22,00	20,00	19,00		23,31
Гру	24,94	24,74	22,61	19,83	24,32	23,40	24,40	20,20	19,75	19,50		23,10

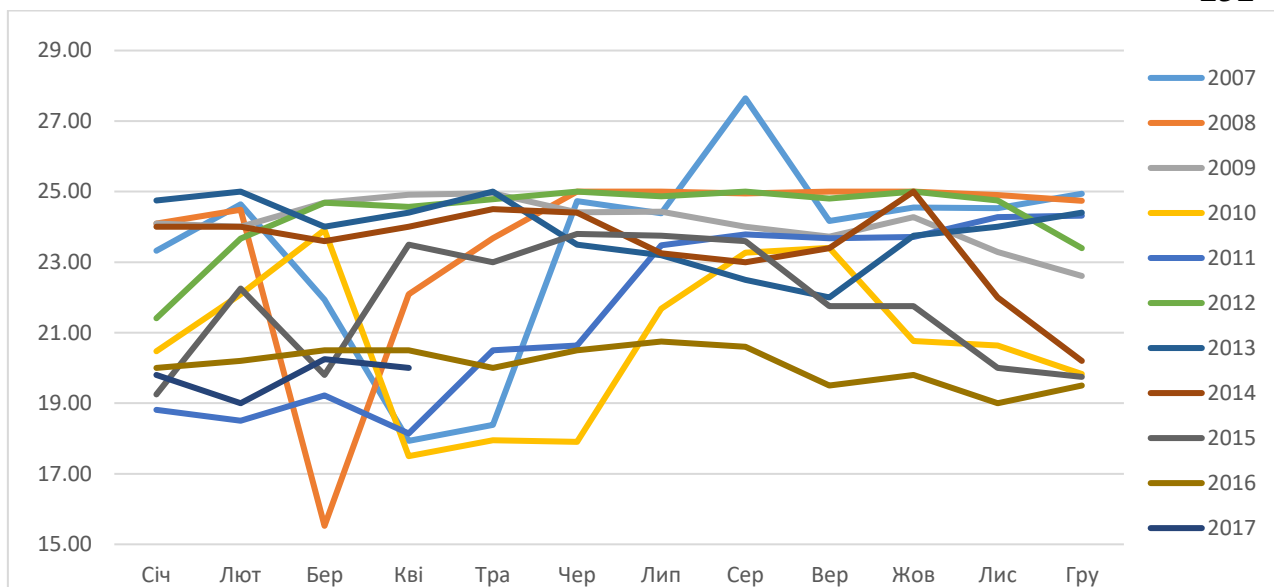


Рисунок В.18 - Порівняльний розподіл показника прозорість в період з 2007 року по 2017 рік за роками

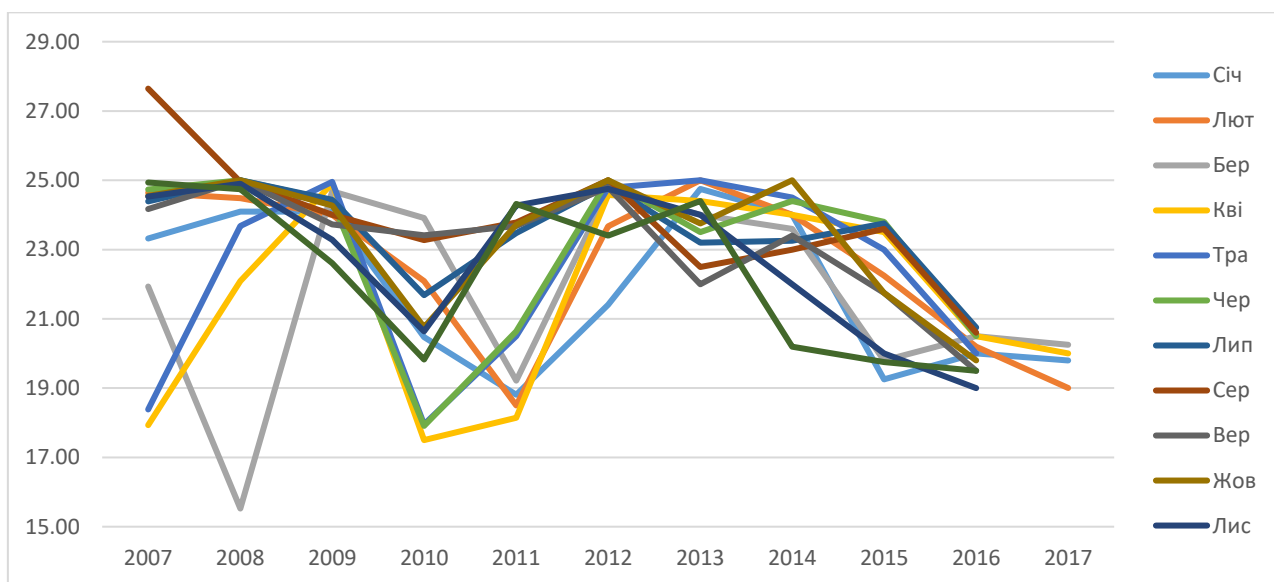


Рисунок В.19 - Порівняльний графік розподілу показника -прозорість в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

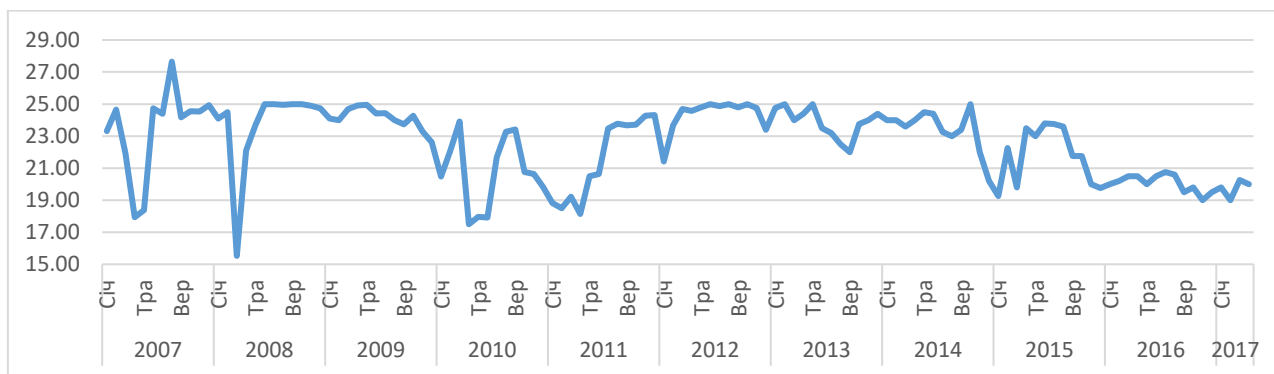


Рисунок В.20 - Графік розподілу показника - прозорість в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - прозорість води

Таблиця В.19 - Розподіл стандартного відхилення вимірів показника -прозорості в точці виміру якості вод

Назва ряду	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	1,83	0,62	2,56	1,11	2,75	0,58	1,26	3,04	2,07	0,81	0,63	0,25
2008	1,01	1,27	2,16	2,91	0,84	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,31	0,54
2009	0,87	0,65	0,48	0,68	0,22	1,33	0,59	0,89	0,98	0,46	0,78	0,66
2010	1,72	1,63	0,29	3,20	0,86	1,34	0,84	0,46	0,50	1,34	1,18	0,49
2011	0,40	0,51	3,45	2,15	2,15	0,73	1,36	0,95	0,65	0,78	0,55	0,72
2012	7,91	1,32	0,57	0,81	0,90	0,00	0,35	0,00	0,45	0,00	0,50	1,14
2013	0,50	0,00	0,82	0,55	0,00	0,58	0,45	0,58	0,71	0,50	0,00	0,55
2014	0,00	0,00	0,55	0,00	0,58	0,55	0,50	0,00	0,55	0,00	1,41	0,45
2015	0,50	1,50	0,45	0,58	0,82	0,45	0,96	0,55	1,50	0,96	1,00	1,26
2016	0,82	0,45	0,58	1,29	0,00	0,58	0,50	0,55	1,00	0,84	1,15	0,58
2017	0,45	1,41	0,96									
Загальн підсум	3,62	2,36	3,58	3,62	3,27	2,70	1,45	2,24	1,52	1,77	1,91	2,12

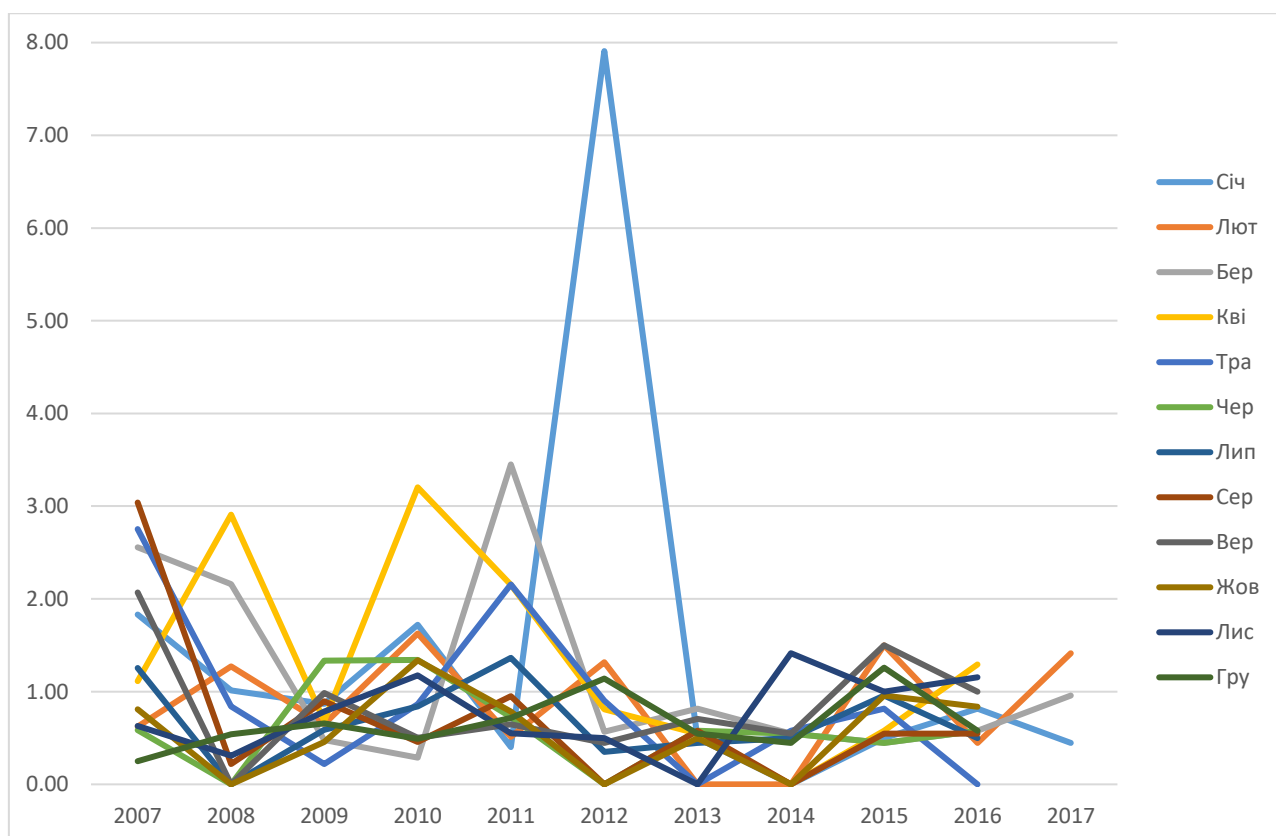


Рисунок В.21 - Порівняльний графік стандартного відхилення розподілу показника - прозорість в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Зміщена дисперсія по полю - прозорість води

Таблиця В.20 - Розподіл дисперсії вимірів показника - прозорість в точці виміру

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	3,36	0,39	6,53	1,24	7,58	0,34	1,58	9,24	4,28	0,66	0,40	0,06
2008	1,02	1,62	4,66	8,47	0,70	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,09	0,29
2009	0,75	0,42	0,23	0,47	0,05	1,78	0,35	0,80	0,97	0,21	0,61	0,43
2010	2,96	2,65	0,08	10,26	0,75	1,80	0,70	0,21	0,25	1,79	1,39	0,24
2011	0,16	0,26	11,91	4,63	4,64	0,53	1,86	0,91	0,42	0,61	0,30	0,51
2012	62,54	1,73	0,32	0,66	0,81	0,00	0,12	0,00	0,20	0,00	0,25	1,30
2013	0,25	0,00	0,67	0,30	0,00	0,33	0,20	0,33	0,50	0,25	0,00	0,30
2014	0,00	0,00	0,30	0,00	0,33	0,30	0,25	0,00	0,30	0,00	2,00	0,20
2015	0,25	2,25	0,20	0,33	0,67	0,20	0,92	0,30	2,25	0,92	1,00	1,58
2016	0,67	0,20	0,33	1,67	0,00	0,33	0,25	0,30	1,00	0,70	1,33	0,33
2017	0,20	2,00	0,92									
Загалом	13,07	5,58	12,83	13,07	10,68	7,31	2,11	5,00	2,32	3,12	3,67	4,48

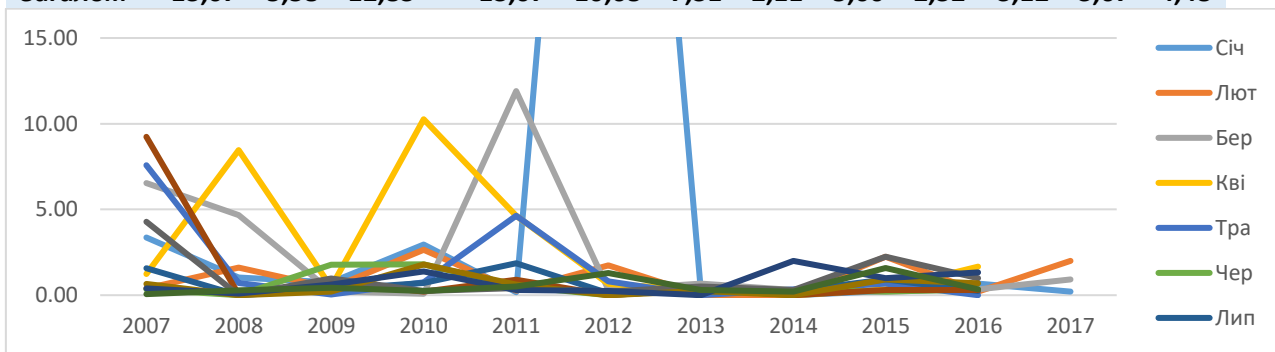


Рисунок В.22 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника - прозорість в період з 2007 року по 2017 рік за роками

В.5 Показник якості води - рН

Кількість вимірів показника

Таблиця В.21 - Кількість вимірів показника рН в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загал підс
2007	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2008	31	29	21	22	22	21	23	21	22	23	20	23	278
2009	22	20	22	22	21	22	23	21	22	22	21	23	261
2010	21	20	23	22	21	22	22	22	22	21	22	23	261
2011	21	20	23	21	22	22	21	23	22	21	22	22	260
2012	22	21	22	21	23	21	22	23	20	23	22	21	261
2013	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22	261
2014	23	20	21	22	22	21	23	21	22	23	20	23	261
2015	20	13	13	15	14	13	14	13	13	13	13	13	167
2016	13	13	13	14	14	13	14	14	13	13	13	13	160
2017	13	12	14	2									41
Загалом	240	216	224	213	213	205	216	211	207	213	204	214	2576

Розподілення значення параметрів рН за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць

Таблиця В.22 - Розподіл показника рН в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	8,02	7,98	8,11	8,31	8,24	7,88	7,77	7,82	7,92	7,88	7,94	7,94
2008	7,87	7,88	7,96	8,04	7,99	7,92	7,98	7,92	7,84	7,90	7,93	7,86
2009	7,91	7,85	7,89	8,13	7,90	7,81	7,75	7,80	7,83	7,84	7,81	7,80
2010	7,78	7,82	7,76	7,78	7,79	7,78	7,71	7,75	7,75	7,75	7,70	7,70
2011	7,71	7,71	7,72	7,87	7,89	7,84	7,74	7,70	7,85	7,81	7,82	7,89
2012	7,85	7,92	7,90	7,90	7,82	7,90	7,95	7,91	7,95	7,95	8,01	8,06
2013	8,02	8,08	8,07	8,18	8,02	8,02	7,98	8,03	8,02	7,95	8,03	8,07
2014	8,03	7,97	8,01	8,04	8,06	8,01	8,01	8,06	8,02	7,96	8,05	8,08
2015	7,99	7,93	7,92	8,14	7,96	8,07	8,07	8,02	8,02	8,03	7,99	7,92
2016	8,02	8,00	8,02	8,09	8,02	8,03	8,02	8,02	8,01	7,98	7,95	7,94
2017	7,95	7,97	7,92	8,00								
Загалом	7,92	7,91	7,94	8,05	7,98	7,91	7,88	7,89	7,91	7,90	7,92	7,92

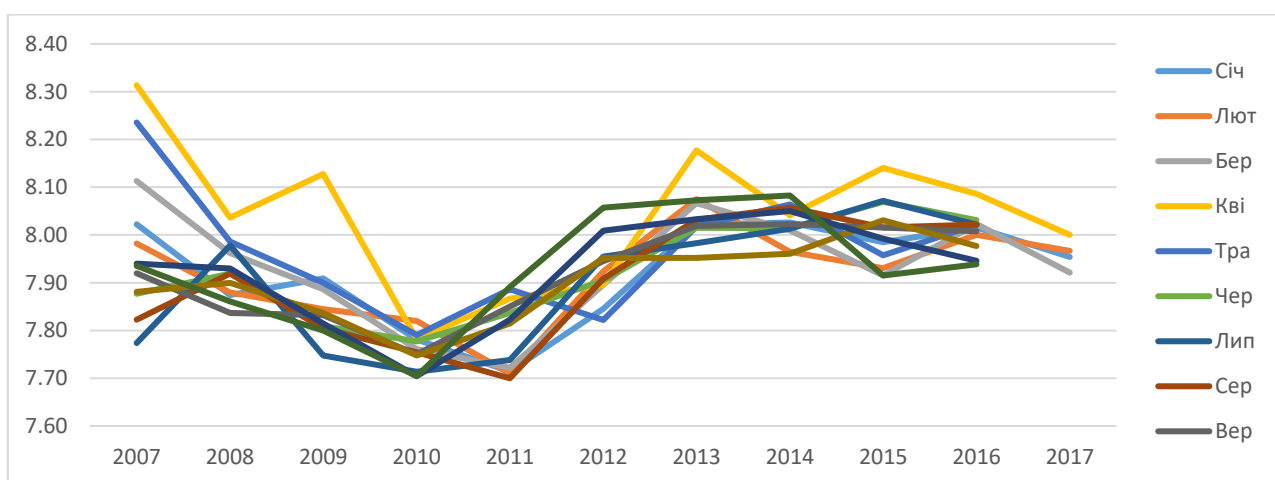


Рисунок В.23 - Порівняльний графік розподілу показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

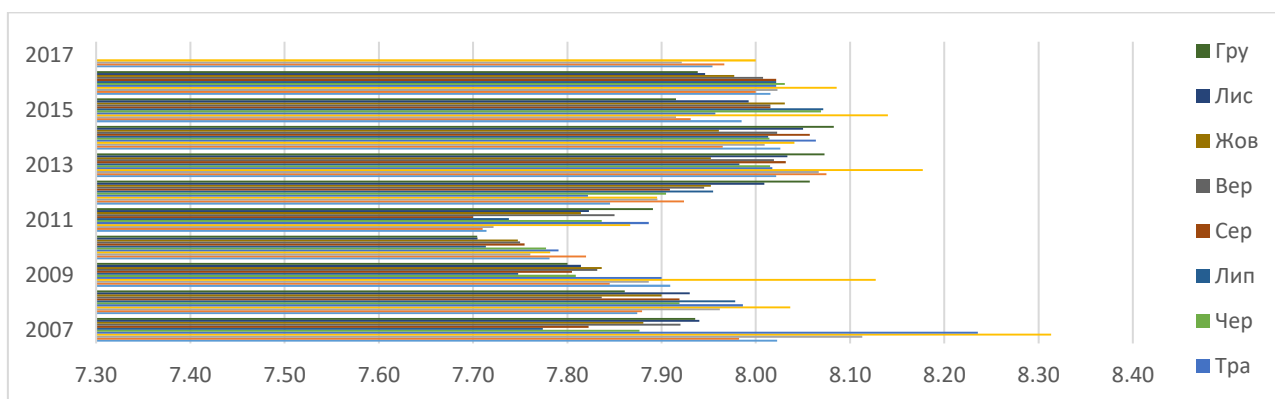


Рисунок В.24 - Порівняльна діаграма розподілу показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

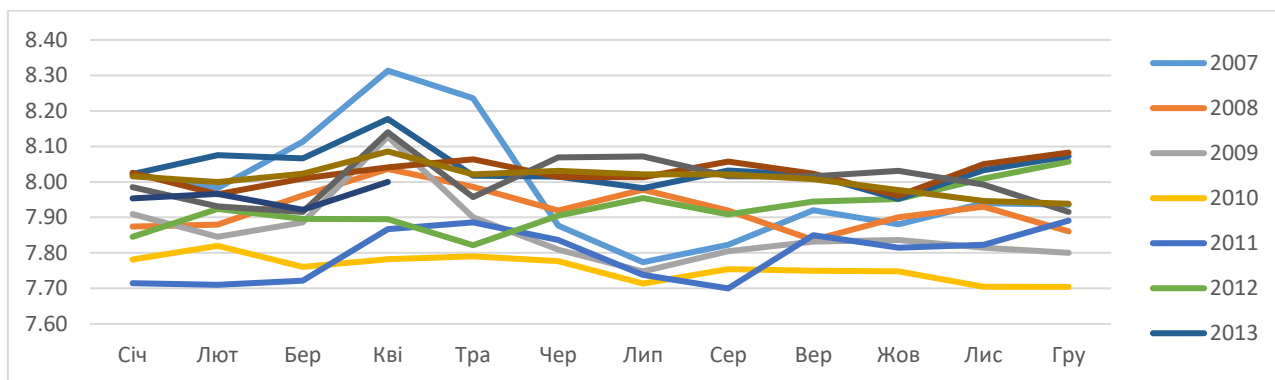


Рисунок В.25 - Порівняльний розподіл показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за роками

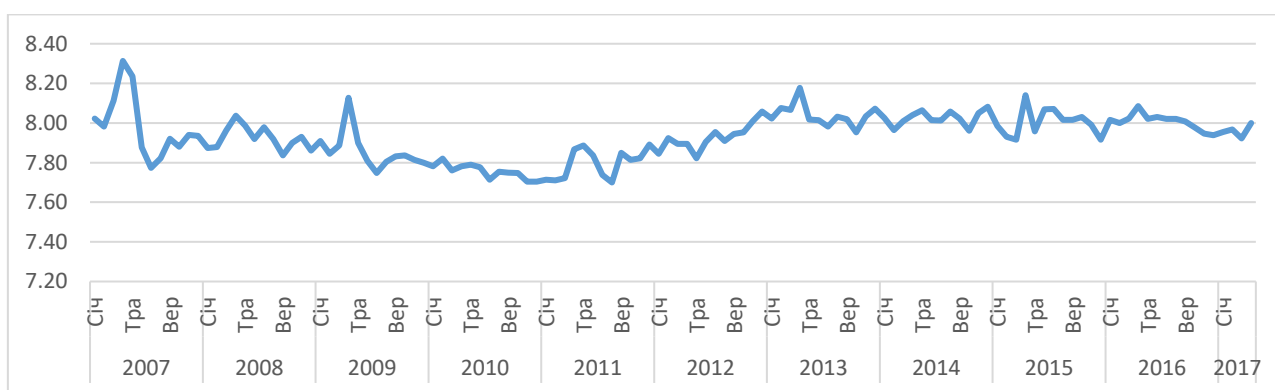


Рисунок В.26 - Графічний розподіл показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - рН води

Таблиця В.23 - Розподіл стандартного відхилення вимірів показника рН в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,07	0,09	0,08	0,08	0,16	0,10	0,20	0,06	0,09	0,07	0,08	0,07
2008	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06
2009	0,08	0,15	0,06	0,10	0,10	0,05	0,13	0,15	0,08	0,06	0,16	0,06
2010	0,05	0,10	0,07	0,07	0,06	0,09	0,07	0,05	0,05	0,07	0,04	0,06
2011	0,04	0,03	0,07	0,20	0,06	0,05	0,06	0,08	0,05	0,07	0,06	0,06
2012	0,09	0,08	0,05	0,09	0,08	0,14	0,12	0,07	0,09	0,07	0,06	0,05
2013	0,09	0,04	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,05	0,06	0,11
2014	0,10	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,06	0,15	0,07
2015	0,10	0,09	0,21	0,19	0,08	0,06	0,09	0,07	0,07	0,10	0,08	0,06
2016	0,06	0,06	0,06	0,11	0,08	0,06	0,04	0,06	0,08	0,04	0,05	0,08
2017	0,07	0,08	0,09	0,00								
Загалом	0,13	0,13	0,15	0,19	0,17	0,12	0,17	0,14	0,12	0,10	0,14	0,14

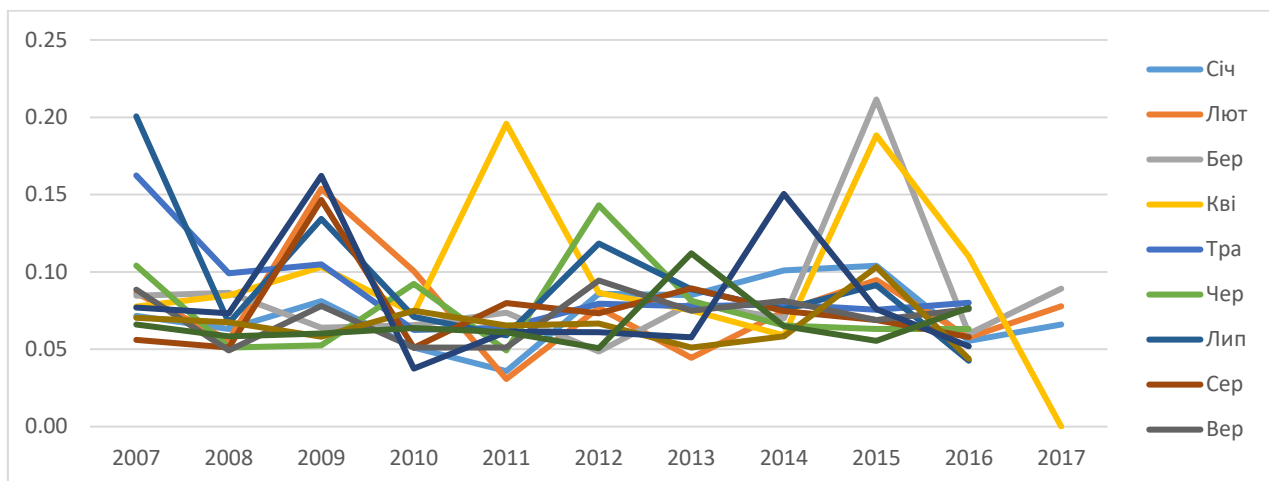


Рисунок В.27 - Порівняльна діаграма розподілу стандартного відхилення показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Зміщена дисперсія по полю - рН води

Таблиця В.24 - Розподіл дисперсії вимірів показника рН в точці виміру якості вод

Назва рядку	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
2008	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2009	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,03	0,00
2010	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
2011	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
2013	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
2014	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00
2015	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
2017	0,00	0,01	0,01	0,00								
Загал підсумок	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02

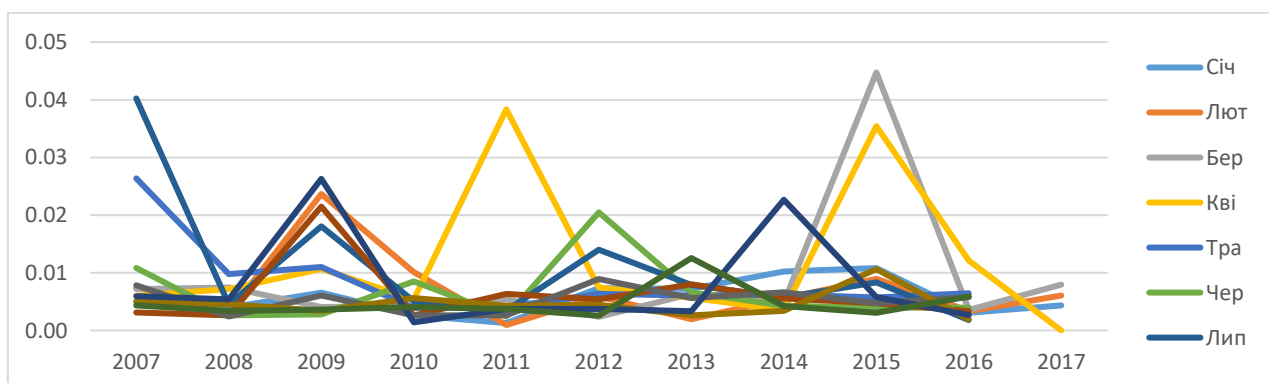


Рисунок В.28 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника рН в період з 2007 року по 2017 рік за роками

3.5 Показник якості води - завислі речовини

3.5.1 Кількість вимірів показника

Таблиця В.25 - Кількість вимірів показника - завислі речовини в точці виміру якості вод

Назва ряду	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
(пусто)												
Січ	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	49
Лют	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	45
Бер	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4	49
Кві	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	1	44
Тра	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5		45
Чер	4	4	5	4	4	4	4	4	5	4		42
Лип	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4		45
Сер	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5		43
Вер	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4		44
Жов	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4		43
Лис	4	4	5	5	5	4	4	4	4	5		44
Гру	4	5	4	4	4	4	5	5	5	3		43
Загал підсумок	52	53	53	52	52	52	53	52	52	51	14	536

Розподілення значення параметрів завислих речовин за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць представлено в таблиці 3.19

Таблиця В.26 - Розподіл показника завислі речовини в точці виміру якості вод

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загалом
Січ	5,28	12,20	14,63	15,50	15,50	17,10	15,60	16,00	15,50	15,50	16,90	14,41
Лют	7,15	9,13	19,42	15,13	16,25	16,13	17,25	16,00	15,25	15,63	15,75	14,93
Бер	10,70	9,88	17,00	17,30	16,90	17,75	16,50	14,88	15,40	15,60	15,88	15,37
Кві	11,08	11,10	17,13	16,63	17,13	14,88	15,10	14,50	15,50	15,50	18,00	14,84
Тра	14,30	15,00	16,00	16,40	16,80	15,40	14,88	14,50	16,13	15,70		15,53
Чер	15,00	14,13	15,60	17,38	16,25	14,88	15,25	14,63	15,70	15,75		15,46
Лип	7,70	15,60	16,00	17,25	17,00	14,80	15,30	15,20	16,00	16,75		15,00
Сер	9,50	16,38	16,50	16,20	16,60	15,13	16,00	15,38	15,88	16,90		15,52
Вер	8,38	16,80	15,80	18,13	17,63	15,25	15,13	16,40	15,60	16,63		15,63
Жов	8,40	16,13	17,00	17,50	16,88	15,10	15,50	15,50	16,55	17,13		15,39
Лис	9,13	16,25	16,20	16,20	15,40	16,88	15,25	15,75	15,75	16,90		15,44
Гру	11,13	17,40	17,25	16,75	16,63	16,00	15,50	15,20	15,60	17,17		15,84
Загалом	9,74	14,21	16,57	16,68	16,57	15,76	15,58	15,33	15,73	16,25	16,36	15,27

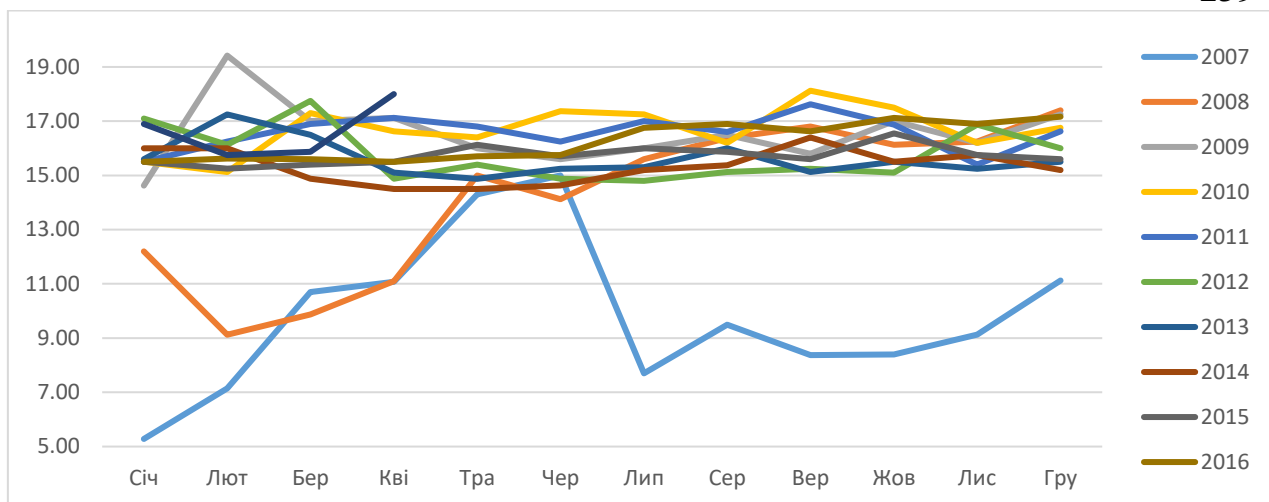


Рисунок В.29 - Порівняльний розподіл показника - завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за роками

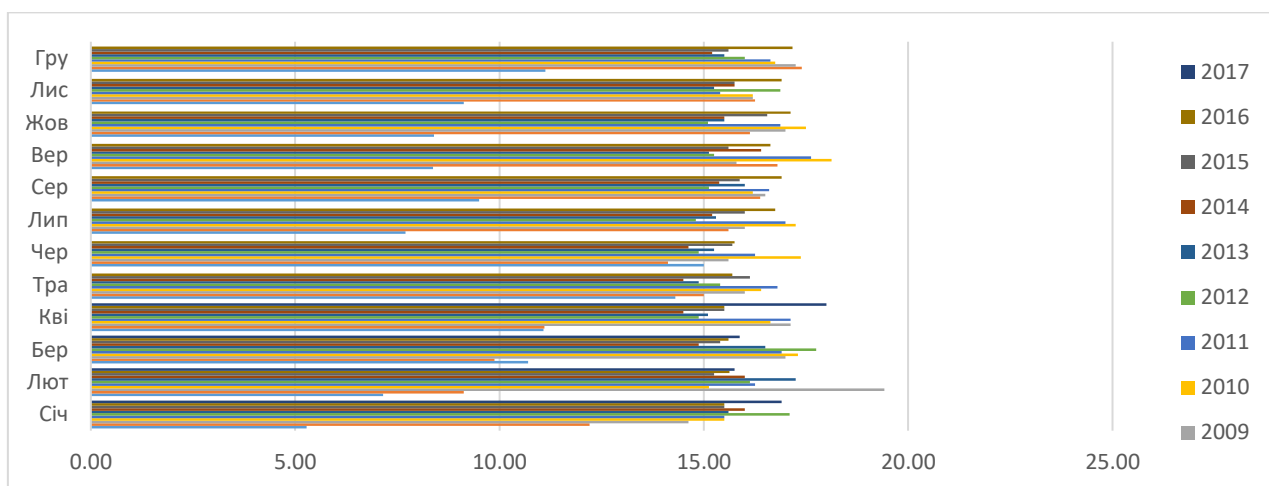


Рисунок В.30 - Порівняльна діаграма розподілу показника - завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за роками

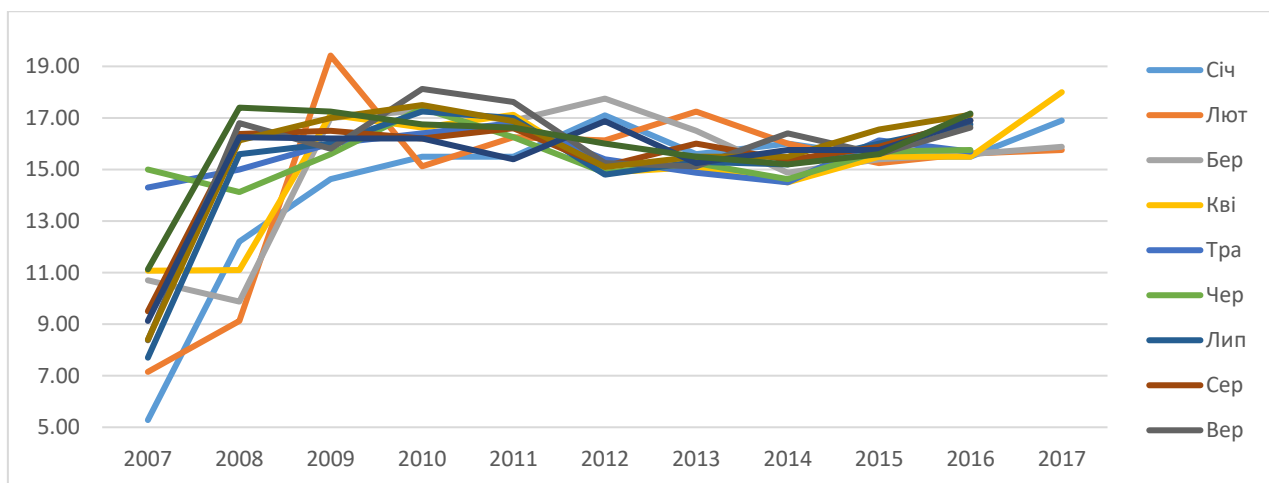


Рисунок В.31 - Порівняльний графік розподілу показника - завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

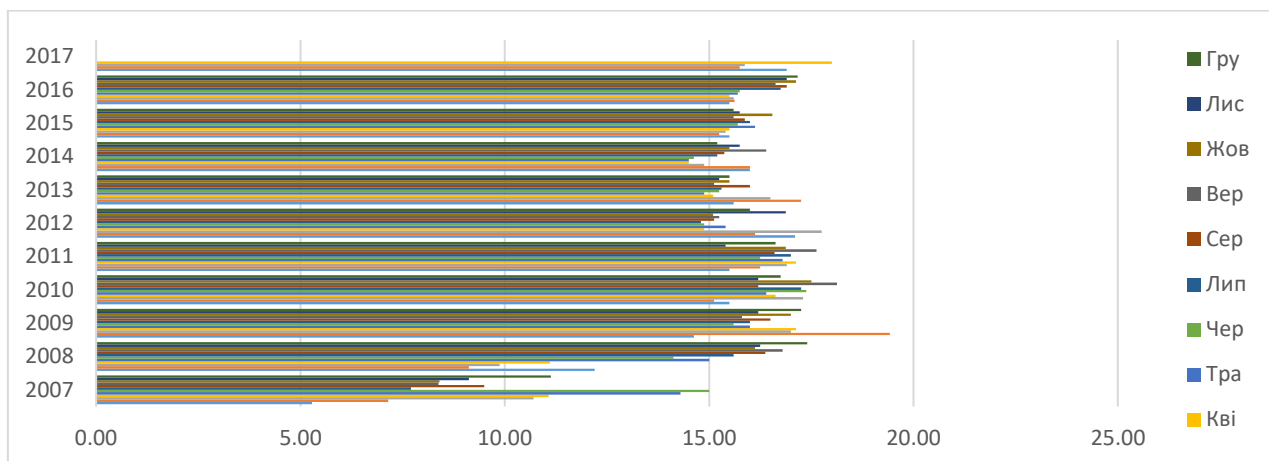


Рисунок В.32 - Порівняльна діаграма розподілу показника - завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

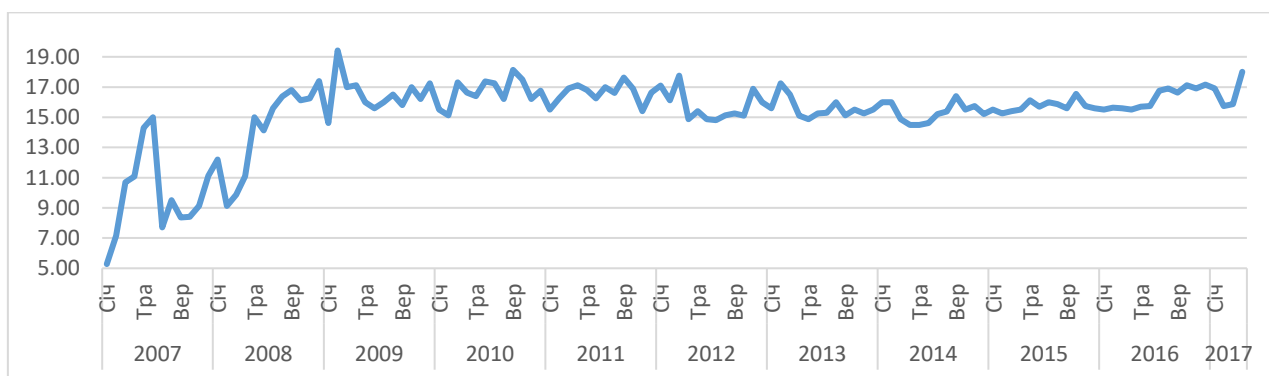


Рисунок В.33 - Графічний розподіл показника завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - завислі речовини води

Таблиця В.27 - Розподіл стандартного відхилення вимірів показника завислі речовини в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007,00	0,59	2,22	1,83	1,12	1,44	4,14	1,68	2,08	0,85	1,78	1,55	1,11
2008,00	0,76	1,31	2,06	3,75	1,87	2,10	1,14	0,85	0,67	1,11	0,65	0,65
2009,00	0,85	4,94	1,12	1,11	1,78	1,19	0,91	0,91	1,20	1,08	1,04	0,65
2010,00	0,82	1,93	0,57	0,85	0,89	0,85	0,87	0,84	0,48	1,47	1,20	1,04
2011,00	0,41	0,65	1,19	0,95	1,04	0,29	0,41	0,65	0,85	1,31	1,29	0,85
2012,00	0,96	1,11	0,65	0,85	0,74	0,85	0,67	1,03	1,04	0,96	0,75	0,71
2013,00	0,96	0,65	1,29	0,96	1,25	0,65	0,76	0,71	0,48	0,79	0,65	0,79
2014,00	0,41	1,08	0,48	0,79	0,82	0,75	1,04	0,75	0,55	0,91	0,65	0,67
2015,00	0,71	0,65	0,65	0,41	0,48	0,27	0,71	0,48	0,42	0,82	0,29	0,42
2016,00	0,82	0,75	0,74	0,71	0,57	0,65	0,29	0,65	0,48	0,48	0,65	0,29
2017,00	0,82	0,96	0,85	#ДЕЛ/0!								
Загалом	3,44	3,89	2,62	2,53	1,31	1,64	2,85	2,20	2,58	2,86	2,26	1,84

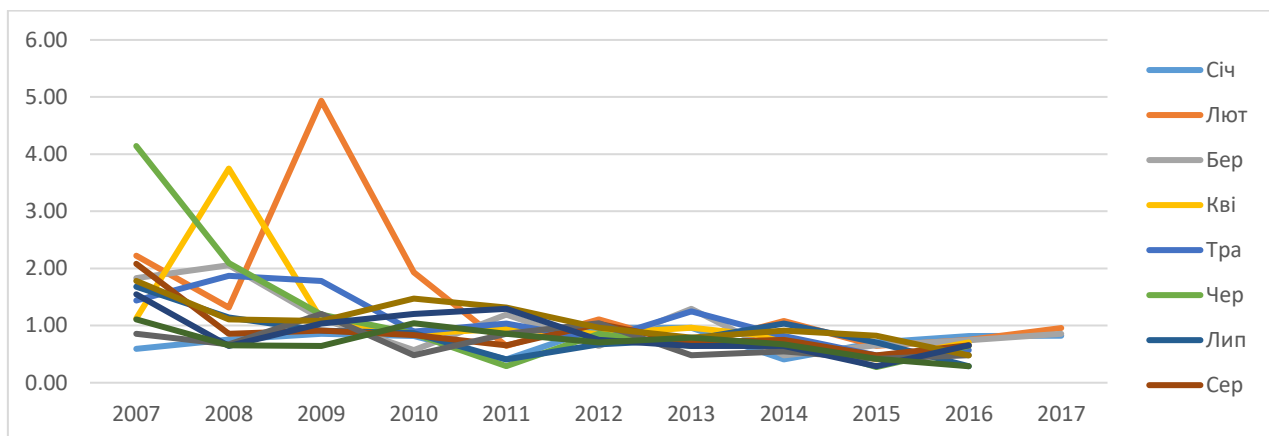


Рисунок В.34 - Порівняльний графік стандартного відхилення розподілу показника завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

Зміщена дисперсія по полю - завислі речовини води

Рисунок В.28 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,35	4,94	3,35	1,26	2,07	17,17	2,83	4,33	0,73	3,18	2,40	1,23
2008	0,57	1,73	4,23	14,05	3,50	4,40	1,30	0,73	0,45	1,23	0,42	0,43
2009	0,73	24,36	1,25	1,23	3,17	1,43	0,83	0,83	1,45	1,17	1,07	0,42
2010	0,67	3,73	0,32	0,73	0,80	0,73	0,75	0,70	0,23	2,17	1,45	1,08
2011	0,17	0,42	1,43	0,90	1,07	0,08	0,17	0,43	0,73	1,73	1,68	0,73
2012	0,93	1,23	0,42	0,73	0,55	0,73	0,45	1,06	1,08	0,93	0,56	0,50
2013	0,93	0,42	1,67	0,93	1,56	0,42	0,57	0,50	0,23	0,63	0,42	0,63
2014	0,17	1,17	0,23	0,63	0,67	0,56	1,07	0,56	0,30	0,83	0,42	0,45
2015	0,50	0,42	0,43	0,17	0,23	0,07	0,50	0,23	0,18	0,68	0,08	0,18
2016	0,67	0,56	0,55	0,50	0,32	0,42	0,08	0,43	0,23	0,23	0,43	0,08
2017	0,68	0,92	0,73	0								
Загалом	11,82	15,13	6,86	6,38	1,72	2,68	8,13	4,82	6,65	8,20	5,10	3,38

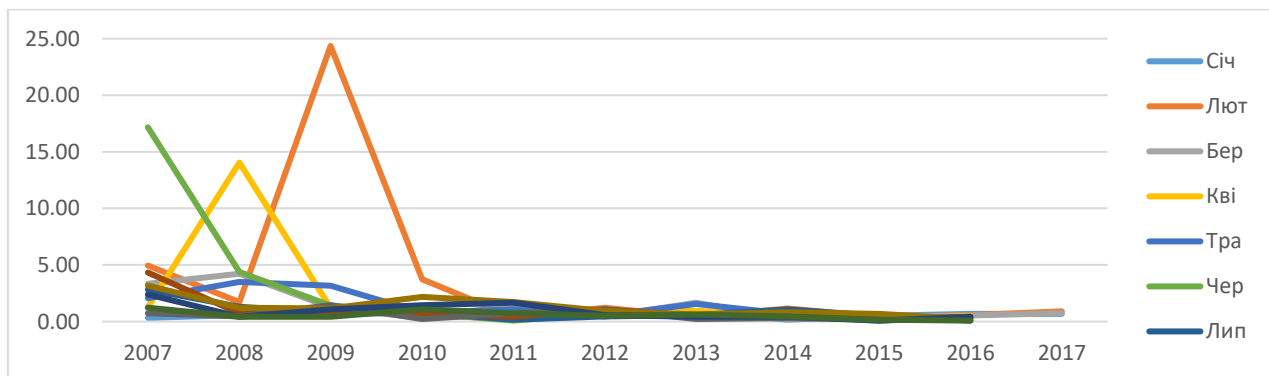


Рисунок В.35 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника завислі речовини в період з 2007 року по 2017 рік за роками

В.6 Показник якості води - хімічне споживання кисню (ХСК)

Кількість вимірів показника: COD_Chemical oxygen demand

Таблиця В.29 - Кількість вимірів показника ХСК в точці виміру якості вод

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загалом
Січ	10	9	8	8	9	10	9	8	8	8	10	97
Лют	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	7	88
Бер	8	9	9	10	9	8	8	9	10	9	8	97
Кві	9	9	9	8	8	8	10	9	7	8	2	87
Тра	9	8	8	9	10	9	8	8	8	10		87
Чер	8	9	9	9	8	8	8	9	10	8		86
Лип	9	9	9	8	8	9	10	9	8	8		87
Сер	9	8	9	10	10	8	8	8	9	10		89
Вер	8	9	9	8	8	8	9	10	9	7		85
Жов	10	9	8	8	9	10	9	8	8	9		88
Лис	8	8	9	10	9	8	8	8	9	9		86
Гру	9	10	9	8	8	9	10	10	9	8		90
Загалом	105	105	104	104	104	103	105	104	103	103	27	1067

Розподілення значення параметрів хімічне споживання кисню (ХСК) за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць

Таблиця В.30 - Розподіл показника - в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	18,48	18,61	17,48	17,27	17,73	18,20	19,81	25,42	27,91	26,68	25,94	26,91
2008	28,11	28,13	23,63	22,80	26,18	25,79	26,07	26,63	27,73	28,33	27,39	26,65
2009	22,66	21,49	28,96	24,28	27,68	27,06	28,18	27,72	20,76	25,05	21,91	25,18
2010	23,18	21,46	20,19	22,74	20,91	22,67	19,85	19,96	20,35	22,29	21,47	21,15
2011	20,07	19,58	19,56	19,90	19,98	18,73	19,55	20,00	19,88	20,04	20,56	20,33
2012	22,22	20,33	21,00	24,06	22,71	26,28	20,96	19,55	18,79	20,02	22,23	26,04
2013	24,83	24,03	27,58	28,95	24,39	33,84	38,34	35,00	44,78	50,28	46,73	45,52
2014	48,86	46,46	48,19	47,93	48,29	48,28	49,89	53,00	49,43	47,89	48,88	47,59
2015	46,38	43,26	42,78	49,53	43,27	49,38	47,21	44,42	37,00	33,38	37,60	39,27
2016	40,74	37,58	40,32	41,90	41,59	39,65	39,65	40,36	39,53	45,89	43,74	41,10
2017	43,95	44,84	42,73	41,00								
Загалом	30,50	29,53	30,37	29,86	29,04	31,41	31,01	30,95	31,04	31,78	31,37	32,39

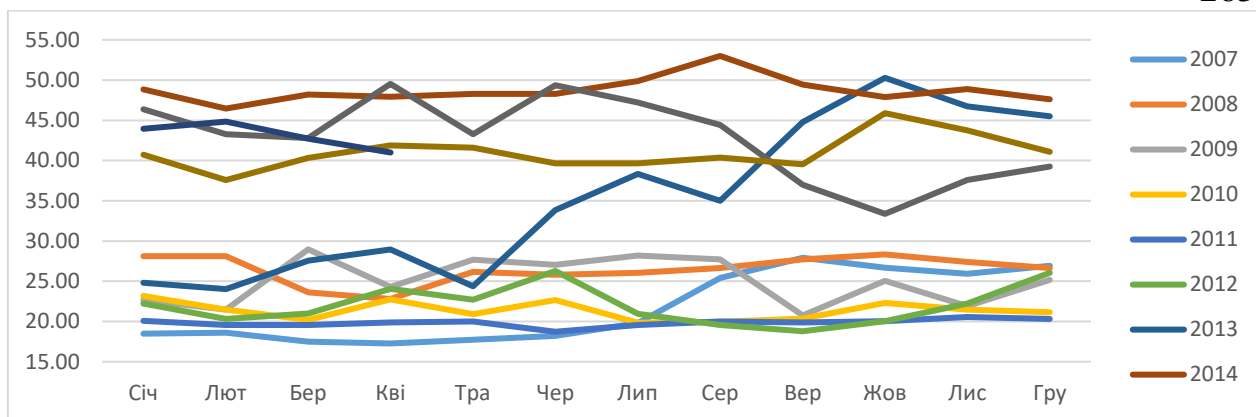


Рисунок В.36 - Порівняльний розподіл показника ХСК в період з 2007 року по 2017 рік за роками

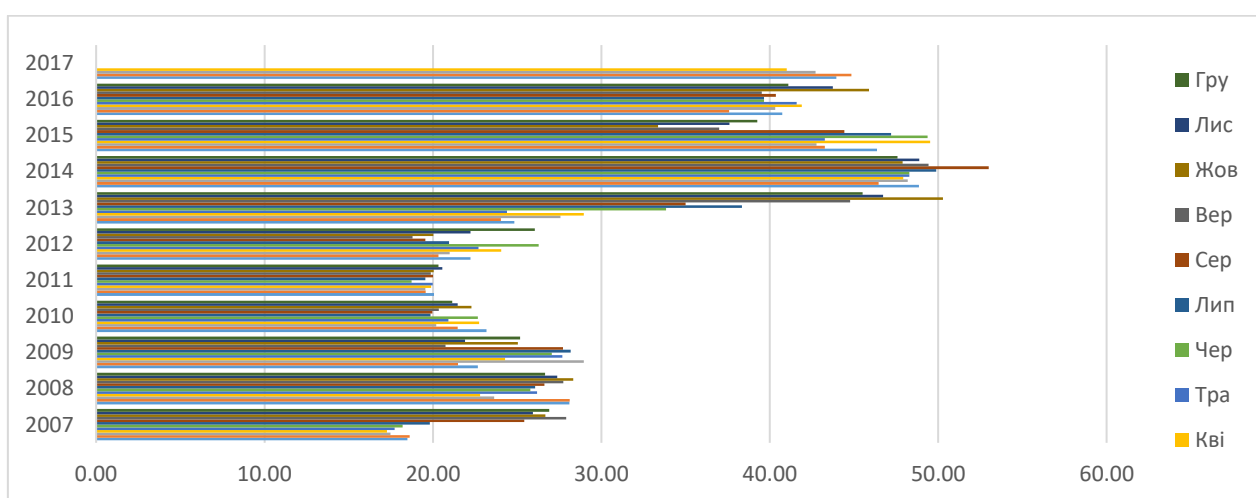


Рисунок В.37 - Порівняльна діаграма розподілу показника ХСК в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

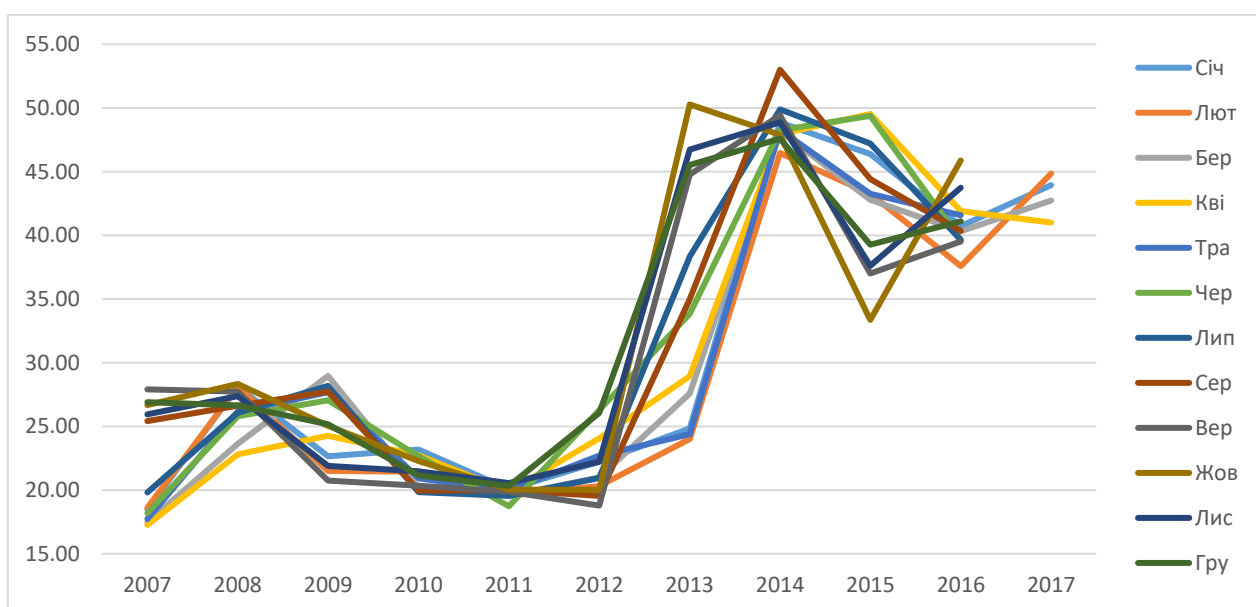


Рисунок В.38 - Порівняльний графік розподілу показника ХСК в період 2007- 2017 р. за місяцями

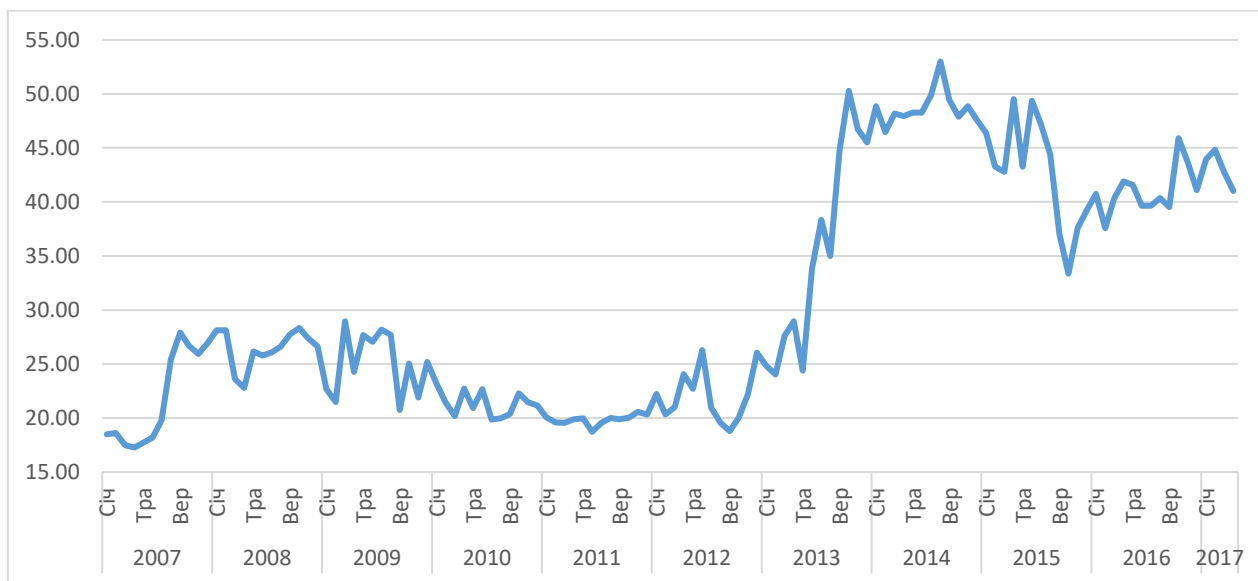


Рисунок В.39 - Графічний розподіл показника ХСК в період 2007 - 2017 р. за роками

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - хімічне споживання кисню (ХСК) води

Таблиця В.31 - Розподіл стандартного відхилення вимірів показника ХСК в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	2,34	2,98	1,00	0,37	1,12	0,72	2,40	4,39	1,74	2,39	2,03	2,38
2008	1,03	0,84	4,36	3,47	2,66	2,54	2,65	2,42	0,98	1,62	1,01	2,52
2009	0,61	8,76	0,69	1,93	0,70	1,63	1,26	0,71	1,71	3,16	3,33	0,97
2010	1,45	1,44	1,03	1,48	1,60	2,57	0,92	1,54	0,64	1,94	0,72	1,44
2011	0,52	0,90	0,83	0,76	0,73	2,82	0,84	0,63	0,47	0,82	1,00	0,77
2012	2,28	0,62	0,55	1,82	5,04	10,5	0	3,70	0,72	1,60	0,68	2,78
2013	1,85	1,02	0	4,65	0,82	7,11	5,22	2,18	5,15	2,86	4,22	3,55
2014	1,22	1,86	1,26	0,79	1,69	0,67	1,02	0,93	1,23	1,29	1,06	1,55
2015	0,64	1,70	1,10	0,55	8	0,75	1,17	3,52	2,41	2,71	2,09	1,08
2016	2,84	5,78	0,94	2,08	1,47	1,00	0,72	2,20	1,33	0,84	1,62	0,86
2017	1,55	2,56	2,81	1,41								
Загалом	11,1	11,1	11,2	11,3	11,7	11,7	11,4	11,1	11,1	11,4	10,9	10,0
м	7	1	8	6	1	5	7	4	8	2	9	6

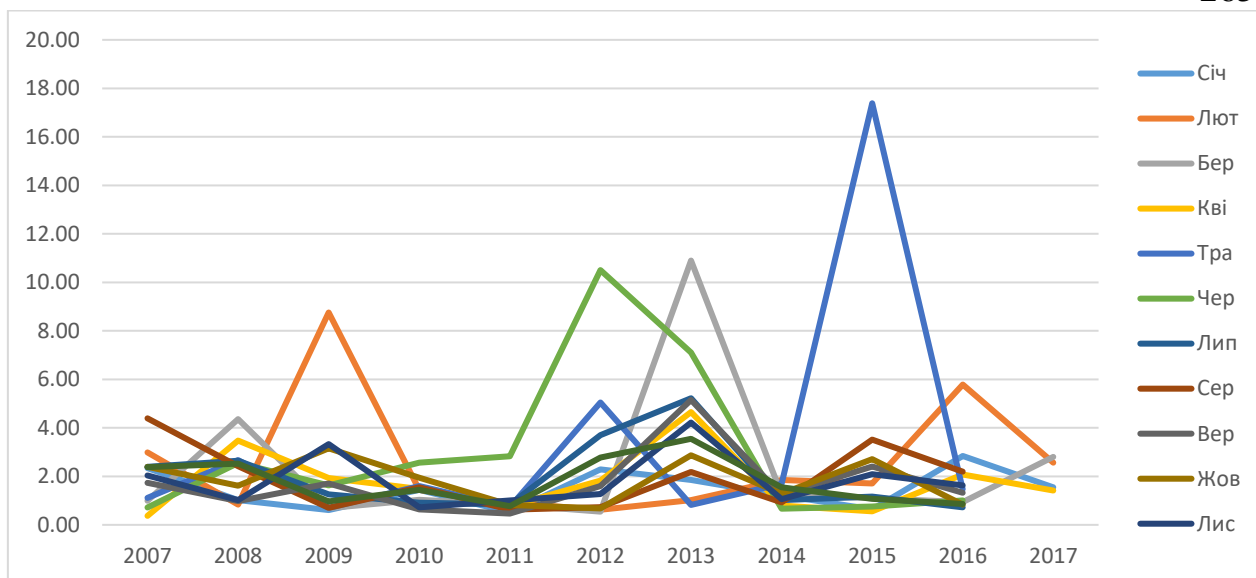


Рисунок В.40 - Порівняльний графік стандартного відхилення розподілу показника ХСК в період 2007 - 2017 р. за роками

Зміщена дисперсія по полю - хімічне споживання кисню (ХСК) води

Таблиця В.32 - Розподіл дисперсії вимірів показника ХСК в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	5,48	8,88	1,00	0,14	1,25	0,51	5,74	19,30	3,02	5,74	4,13	5,68
2008	1,05	0,70	19,03	12,06	7,10	6,48	7,01	5,86	0,96	2,61	1,03	6,34
2009	0,37	76,67	0,48	3,71	0,49	2,66	1,58	0,50	2,91	9,96	11,09	0,93
2010	2,09	2,07	1,05	2,20	2,56	6,59	0,84	2,38	0,41	3,78	0,52	2,08
2011	0,27	0,82	0,69	0,58	0,54	7,96	0,71	0,39	0,22	0,68	1,01	0,59
2012	5,22	0,39	0,30	3,31	25,40	110,35	13,70	0,52	2,57	0,46	1,61	7,72
2013	3,41	1,03	118,79	21,62	0,67	50,51	27,26	4,74	26,52	8,19	17,79	12,59
2014	1,48	3,45	1,59	0,63	2,87	0,44	1,05	0,86	1,51	1,66	1,13	2,39
2015	0,41	2,90	1,21	0,31	302,22	0,56	1,37	12,38	5,80	7,36	4,37	1,16
2016	8,07	33,43	0,88	4,33	2,15	1,00	0,52	4,84	1,76	0,70	2,63	0,73
2017	2,41	6,55	7,87	2,00								
Загалом	124,74	123,35	127,27	128,98	137,10	138,17	131,65	124,03	125,03	130,49	120,85	101,26

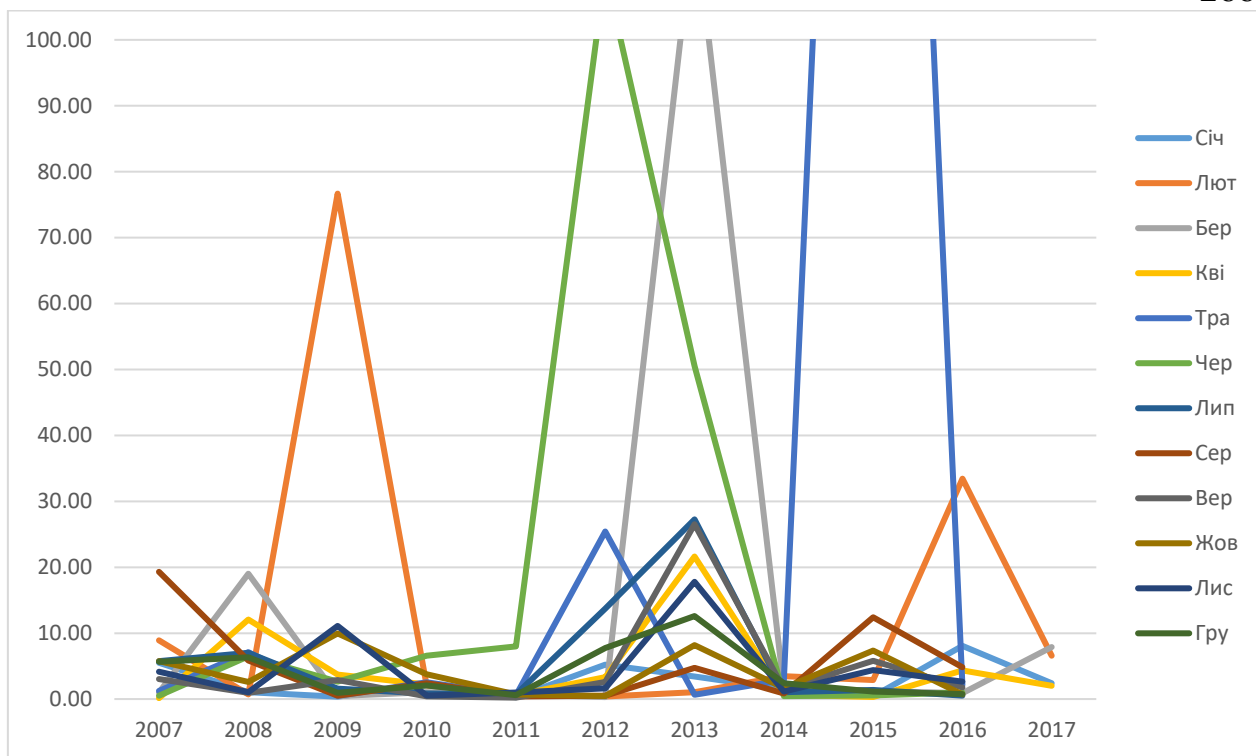


Рисунок В.41 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника ХСК в період 2007 -2017 р. за роками

В.7 Показник якості води - азот амонійний

Кількість вимірів показника: Ammonium-ion

Таблиця В.33 - Кількість вимірів показника азот амонійний в точці виміру якості вод

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загалом
(пусто)												
Січ	10	9	8	8	9	9	9	8	8	7	9	94
Лют	8	8	8	8	8	9	8	8	8	9	8	90
Бер	8	9	9	10	9	8	8	9	9	9	9	97
Кві	9	9	9	8	8	9	9	9	8	9	2	89
Тра	9	8	8	9	9	9	9	8	8	10		87
Чер	8	9	9	9	9	8	8	9	9	9		87
Лип	9	9	9	8	8	9	10	9	8	9		88
Сер	9	8	9	9	10	9	8	8	9	10		89
Вер	8	9	9	9	8	8	9	9	9	9		87
Жов	10	9	8	7	9	10	9	9	8	9		88
Лис	8	8	9	9	9	8	8	8	9	9		85
Гру	9	10	9	9	8	9	9	10	9	8		90
Загалом	105	105	104	103	104	105	104	104	102	107	28	1071

Розподілення значення параметрів азот амонійний за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

Таблиця В.34 - Кількість вимірів показника азот амонійний в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,26	0,19	0,23	0,28	0,32	0,18	0,22	0,25	0,23	2,69	0,18	0,17
2008	0,22	0,29	0,47	0,41	0,23	0,28	0,24	0,22	0,23	0,22	0,18	0,20
2009	0,24	0,27	0,27	0,23	0,22	0,24	0,23	0,26	0,28	0,25	0,28	0,28
2010	0,30	0,39	0,34	0,26	0,31	0,32	0,30	0,27	0,24	0,32	0,29	0,27
2011	0,30	0,28	0,35	0,32	0,28	0,21	0,27	0,38	0,21	0,27	0,28	0,28
2012	0,25	0,38	0,46	0,38	0,24	0,25	0,22	0,30	0,37	0,28	0,29	0,25
2013	0,45	0,34	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,28	0,35	0,39	0,35
2014	0,30	0,30	0,30	0,27	0,30	0,31	0,27	0,25	0,29	0,29	0,25	0,25
2015	0,27	0,27	0,25	0,24	0,24	0,27	0,29	0,28	0,26	0,24	0,30	0,29
2016	0,29	0,34	0,32	0,26	0,28	0,28	0,31	0,46	0,44	0,48	0,38	0,38
2017	0,44	0,47	0,45	0,29								
Загалом	0,30	0,32	0,34	0,29	0,27	0,26	0,26	0,30	0,28	0,57	0,28	0,27

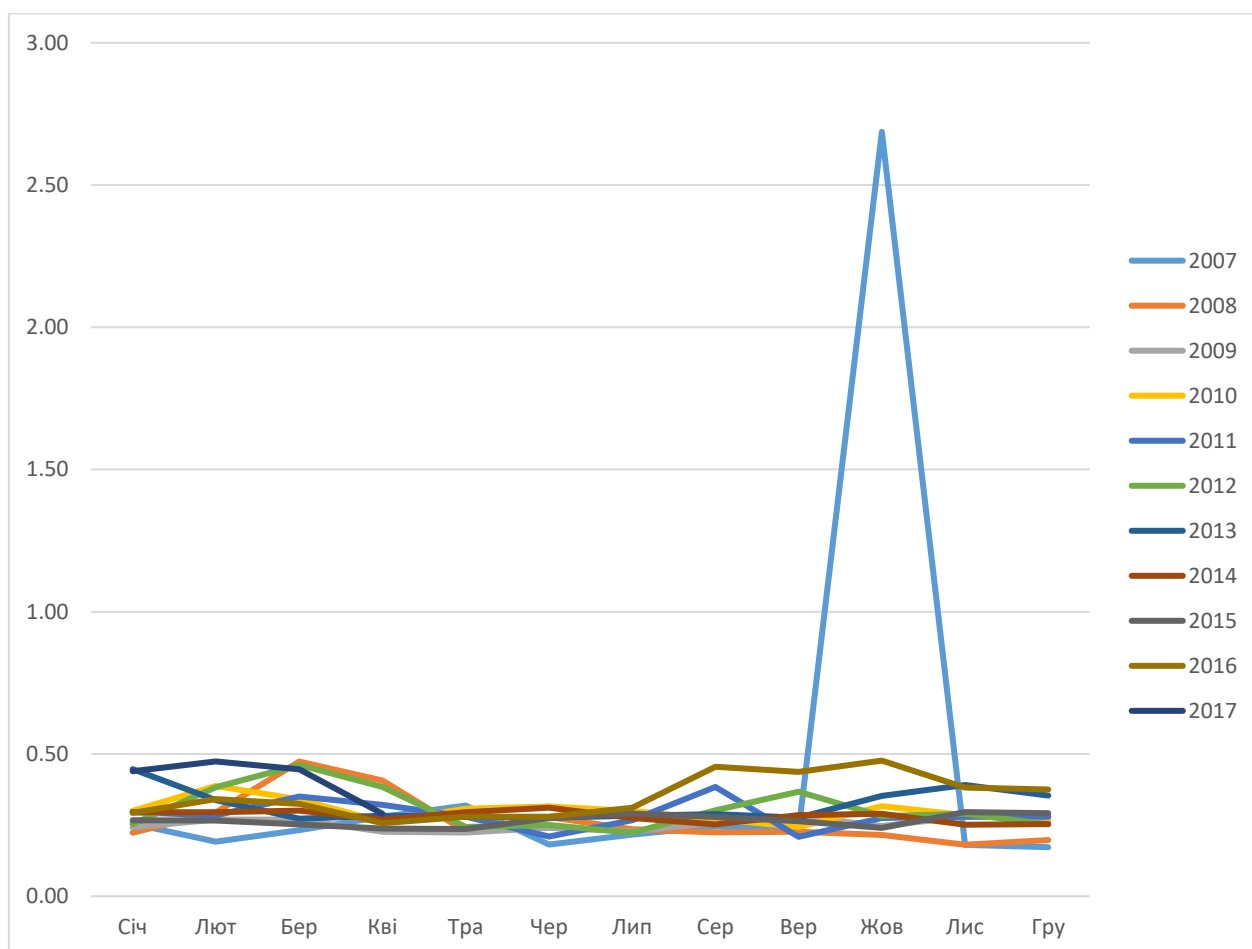


Рисунок В.40 - Порівняльний розподіл показника азот амонійний в період з 2007 року по 2017 рік за роками

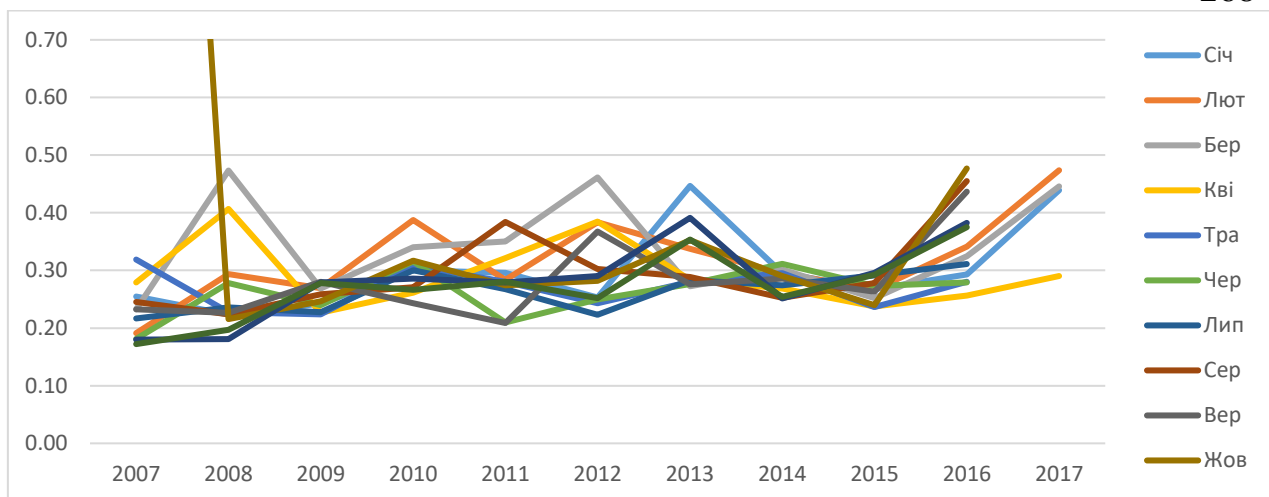


Рисунок В.41 - Порівняльний графік розподілу показника азот амонійний в період 2007-2017 р. за місяцями

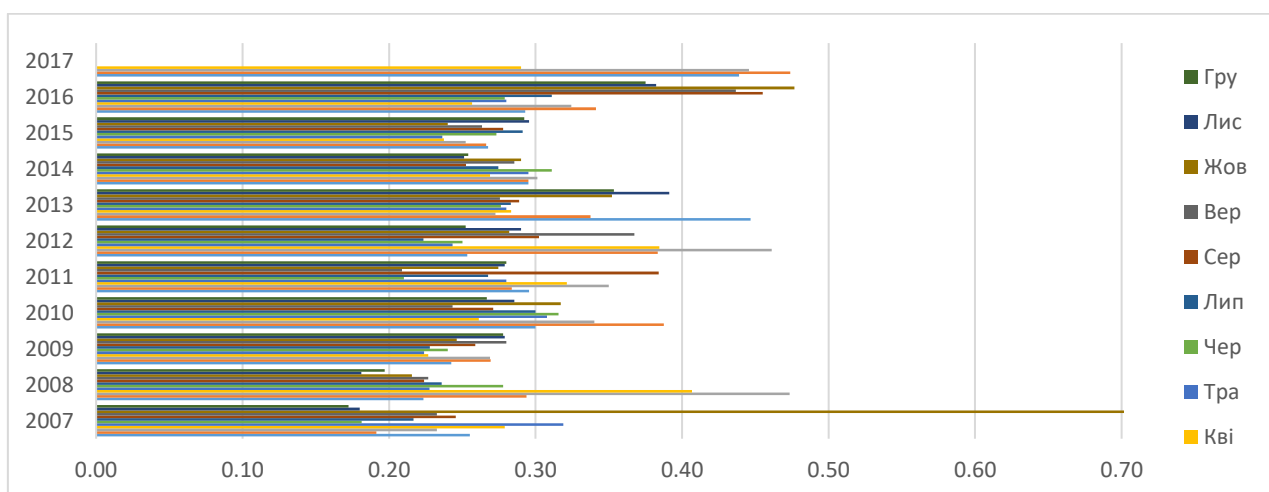


Рисунок В.42 - Порівняльна діаграма розподілу показника азот амонійний в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

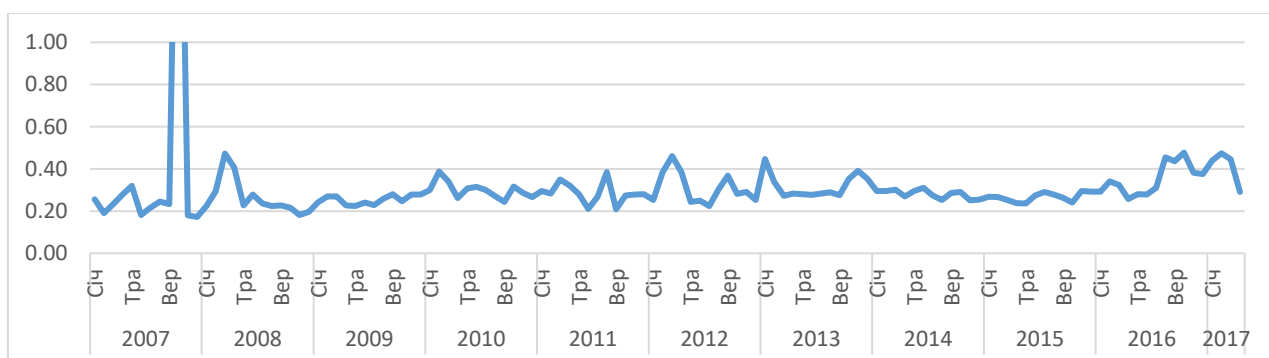


Рисунок В.43 - Графічний розподіл показника азот амонійний в період 2007 - 2017 р. за роками

Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - азот амонійний води

Таблиця В.35 - Розподіл стандартного відхилення вимірів показника азот амонійний в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,03	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05	7,84	0,03	0,04
2008	0,06	0,08	0,03	0,09	0,05	0,10	0,08	0,04	0,04	0,02	0,07	0,02
2009	0,05	0,09	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05	0,02
2010	0,03	0,06	0,10	0,13	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02
2011	0,04	0,02	0,13	0,08	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,03
2012	0,04	0,06	0,15	0,10	0,07	0,10	0,03	0,08	0,05	0,03	0,04	0,02
2013	0,08	0,10	0,01	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,05
2014	0,06	0,04	0,07	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
2015	0,02	0,01	0,03	0,02	0,06	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
2016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03	0,12	0,06	0,06	0,05	0,04
2017	0,07	0,09	0,08	0,07								
Загалом	0,09	0,09	0,11	0,09	0,06	0,07	0,05	0,09	0,08	2,64	0,08	0,06

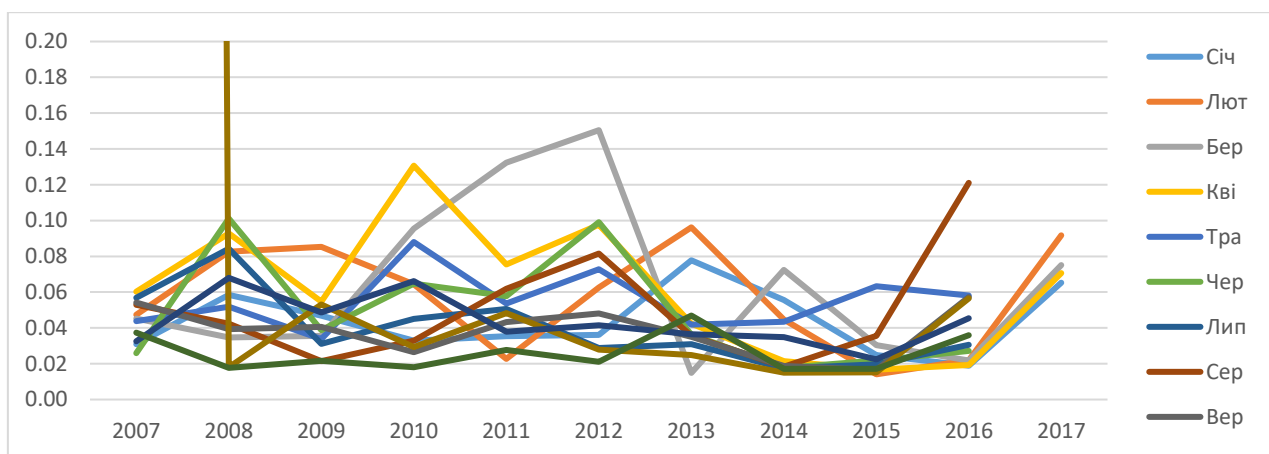


Рисунок В.44 - Порівняльний графік стандартного відхилення розподілу показника азот амонійний в період 2007 - 2017 р. за роками

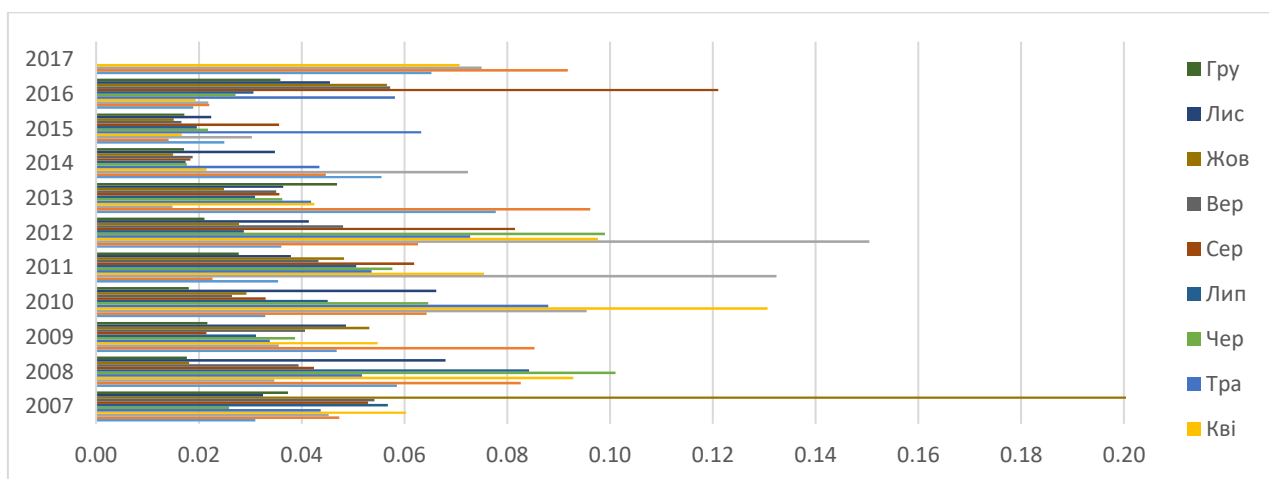


Рисунок В.45 - Порівняльна діаграма стандартного відхилення розподілу показника азот амонійний в період 2007 - 2017 р. за роками

Зміщена дисперсія по полю - азот амонійний води

Таблиця В.36 - Розподіл дисперсії вимірів показника азот амонійний в точці виміру якості вод

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,47	0,00	0,00
2008	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,01	0,01	0,00								
Загалом	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	6,95	0,01	0,00

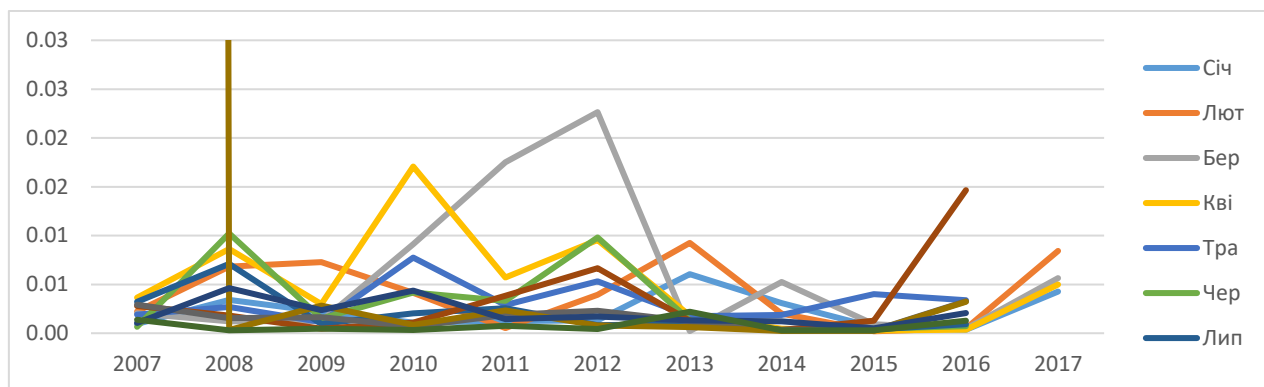


Рисунок В.46 - Порівняльний графік розподілу дисперсії показника азот амонійний в період 2007 -2017 р. за роками

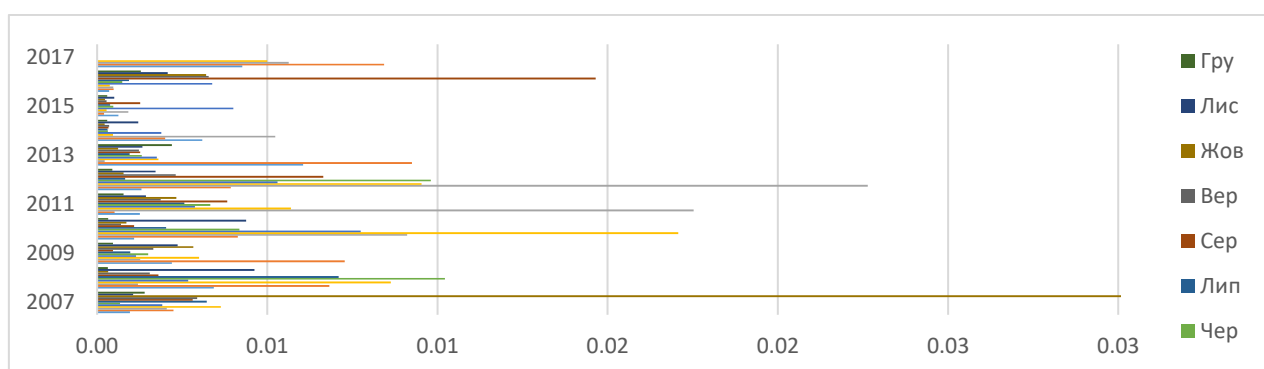


Рисунок В.47 - Порівняльна діаграма розподілу дисперсії показника азот амонійний в період 2007 -2017 р. за роками

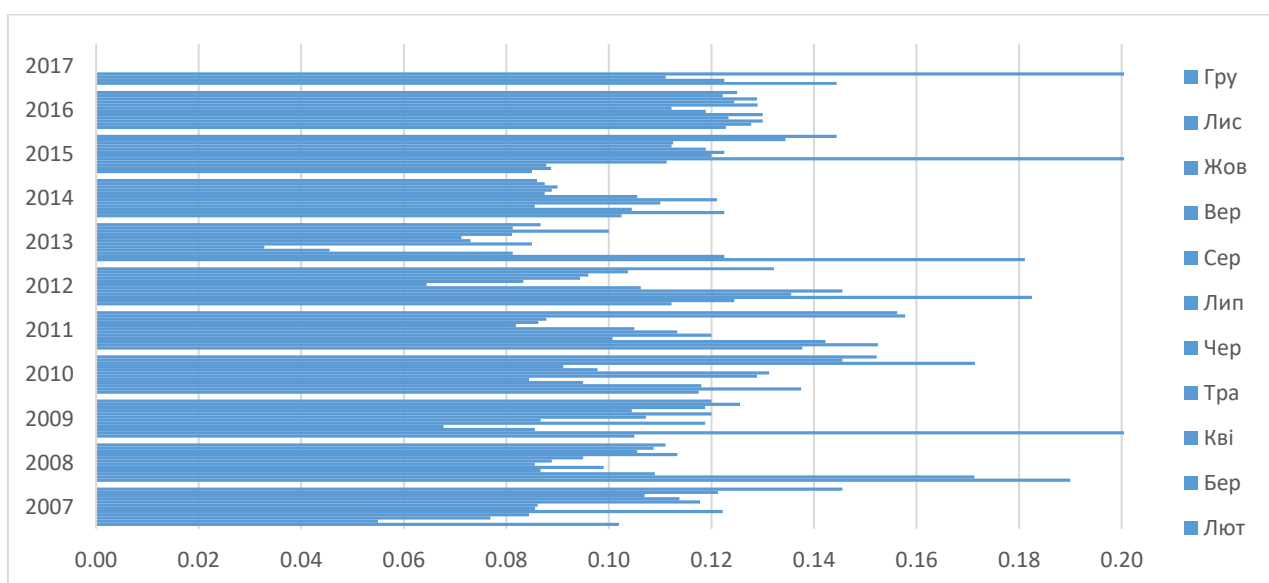
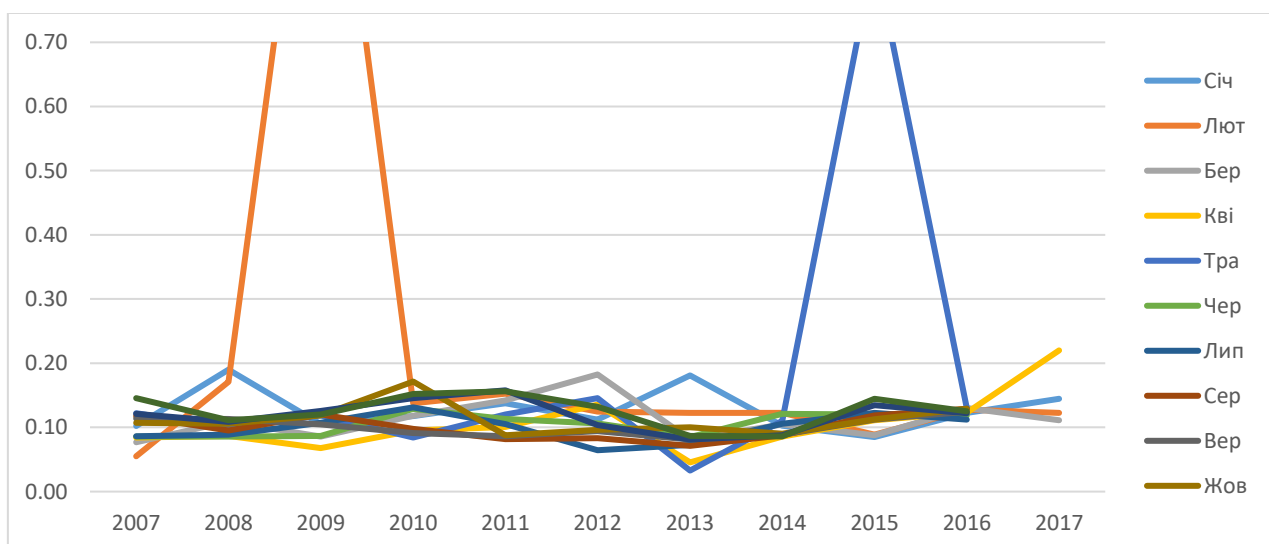
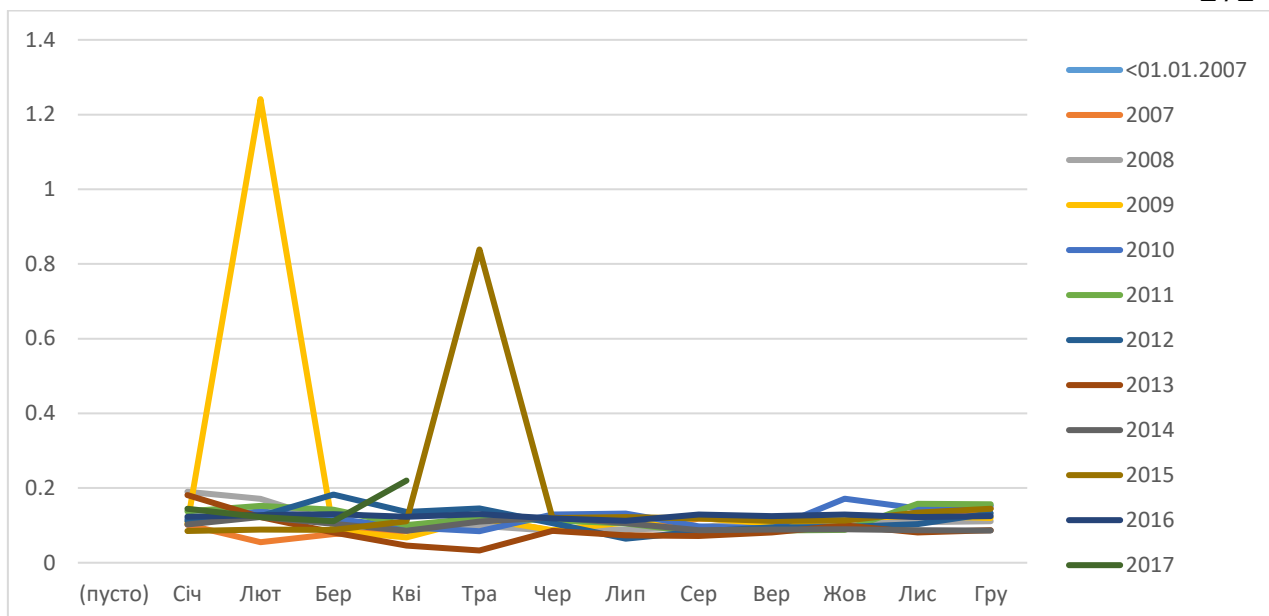
В.8 Показник якості води - азот нітритний

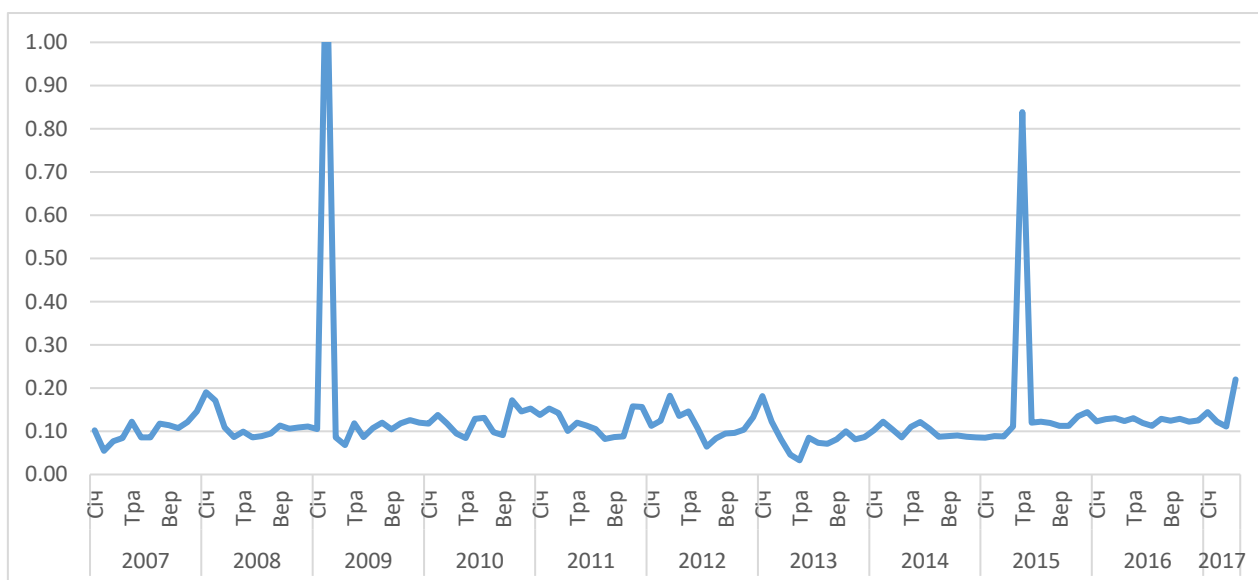
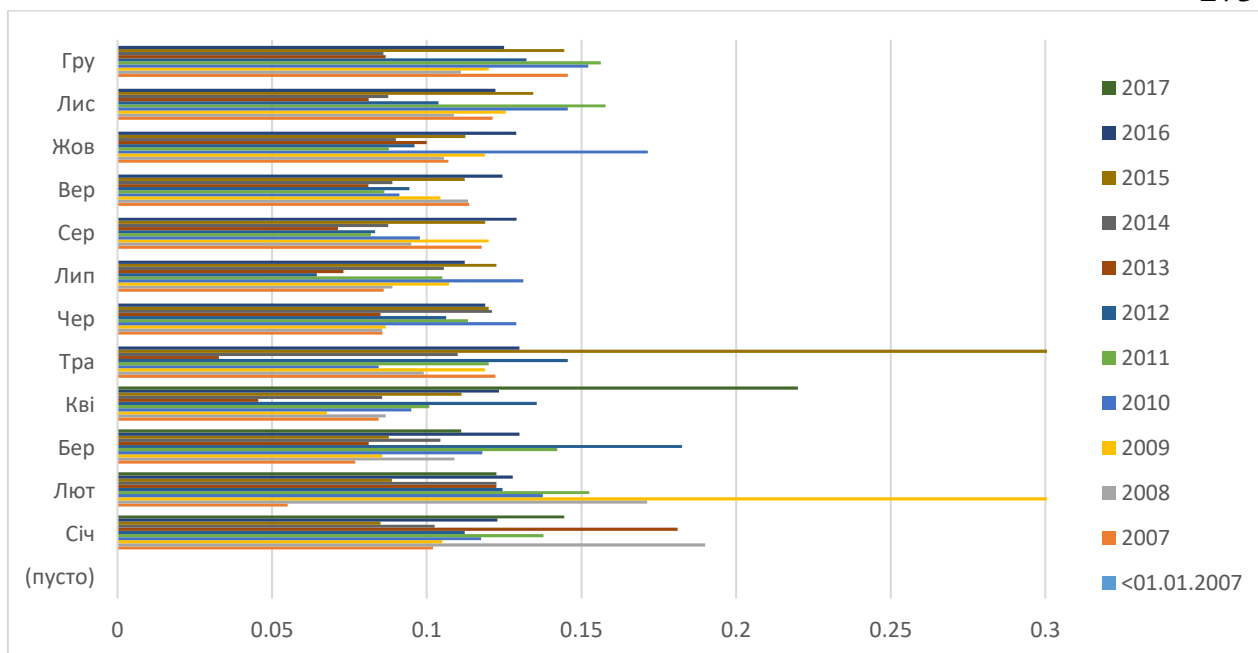
Кількість вимірів показника: Nitrite-ion

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
(пусто)												
Січ	10	9	8	8	9	9	9	8	8	7	9	94
Лют	8	8	8	8	8	9	8	8	8	9	8	90
Бер	8	9	9	10	9	8	8	9	9	9	9	97
Кві	9	9	9	8	8	9	9	9	8	9	2	89
Тра	9	8	8	9	9	9	9	8	8	10		87
Чер	8	9	9	9	9	8	8	9	9	9		87
Лип	9	9	9	8	8	9	10	9	8	9		88
Сер	9	8	9	9	10	9	8	8	9	10		89
Вер	8	9	9	9	8	8	9	9	9	9		87
Жов	10	9	8	7	9	10	9	9	8	9		88
Лис	8	8	9	9	9	8	8	8	9	9		85
Гру	9	10	9	9	8	9	9	10	9	8		90
Загал підс	105	105	104	103	104	105	104	104	102	107	28	1071

Розподілення значення параметрів азот нітритний за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

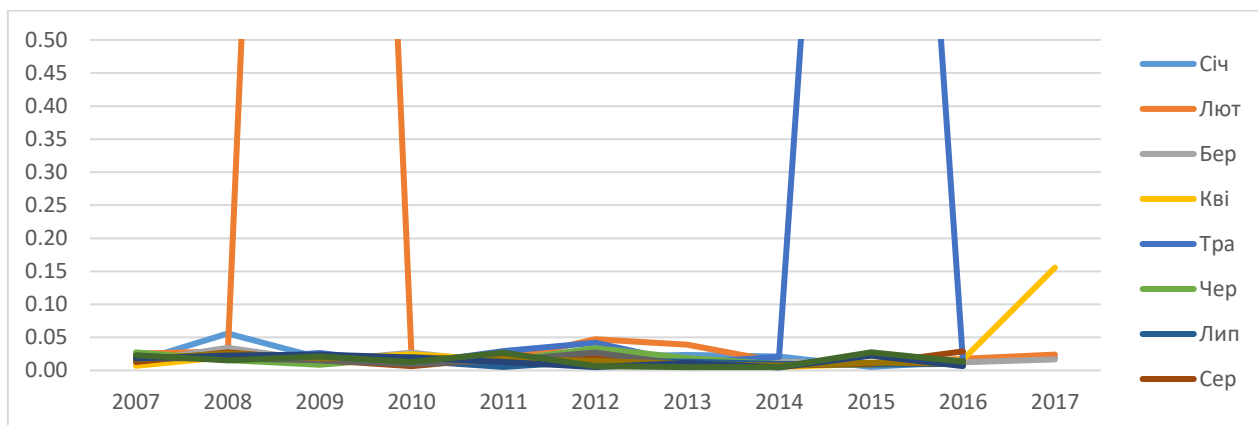
Назва ряду	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12	0,09	0,09	0,12	0,11	0,11	0,12	0,15
2008	0,19	0,17	0,11	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
2009	0,11	1,24	0,09	0,07	0,12	0,09	0,11	0,12	0,10	0,12	0,13	0,12
2010	0,12	0,14	0,12	0,10	0,08	0,13	0,13	0,10	0,09	0,17	0,15	0,15
2011	0,14	0,15	0,14	0,10	0,12	0,11	0,11	0,08	0,09	0,09	0,16	0,16
2012	0,11	0,12	0,18	0,14	0,15	0,11	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,13
2013	0,18	0,12	0,08	0,05	0,03	0,09	0,07	0,07	0,08	0,10	0,08	0,09
2014	0,10	0,12	0,10	0,09	0,11	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
2015	0,09	0,09	0,09	0,11	0,84	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,13	0,14
2016	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12	0,11	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13
2017	0,14	0,12	0,11	0,22								
Загалом	0,13	0,22	0,11	0,10	0,17	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13





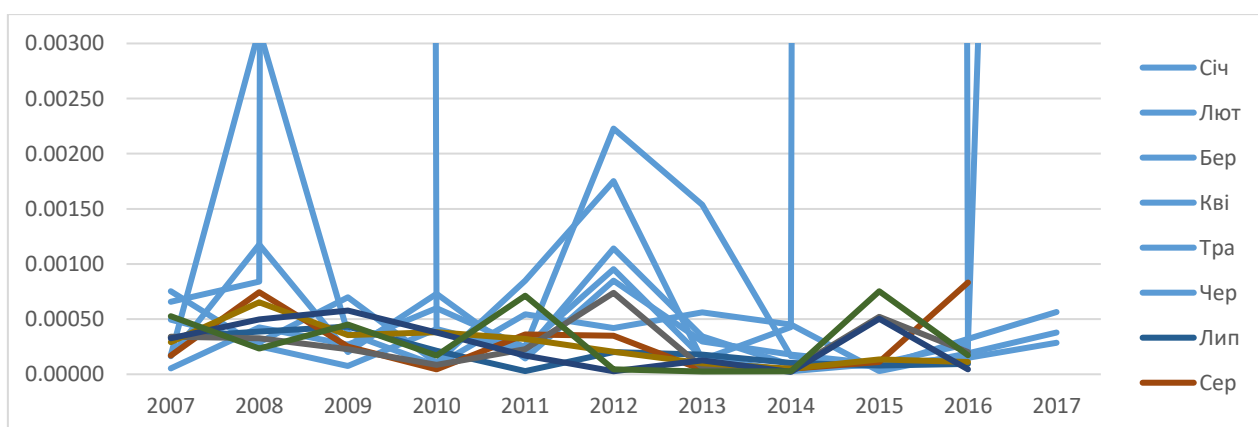
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - азот нітритний води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
2008	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
2009	0,02	3,22	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
2010	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
2011	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
2012	0,02	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
2013	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2014	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
2015	0,01	0,01	0,01	0,01	2,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03
2016	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
2017	0,02	0,02	0,02	0,16								
Загалом	0,04	0,96	0,03	0,04	0,62	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03



Зміщена дисперсія по полю - азот нітритний - води

рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,0001	0,00066	0,0001	0,0000	0,0004	0,0007	0,0003	0,0001	0,0003	0,0002	0,0003	0,0005
2008	7	0,00084	6	5	9	5	4	7	4	9	3	3
2009	0,0031	1	0,0011	0,0004	0,0002	0,0002	0,0003	0,0007	0,0003	0,0006	0,0005	0,0002
2010	0,0003	10,3416	0,0002	0,0002	0,0007	0,0000	0,0004	0,0002	0,0002	0,0003	0,0005	0,0004
2011	7	0	0	7	0	8	3	5	3	6	8	5
2012	0,0000	0,0007	0,0006	0,0001	0,0004	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0003	0,0001
2013	8	0,00039	3	0	0	1	1	4	9	8	8	7
2014	0,0005	0,00025	0,0001	0,0002	0,0008	0,0002	0,0000	0,0003	0,0002	0,0003	0,0001	0,0007
2015	4	0,00025	4	4	5	0	3	6	3	2	7	1
2016	0,0004	0,00023	0,0008	0,0009	0,0017	0,0011	0,0002	0,0003	0,0007	0,0002	0,0000	0,0000
2017	2	0,00223	5	5	5	4	0	5	4	0	3	4
2007	0,0005	0,0003	0,0003	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000
2008	6	0,00154	0	5	3	4	8	4	6	0	3	3
2009	0,0004	0,00016	0,0001	0,0000	0,0004	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2010	5	0,00016	8	3	3	9	0	5	4	5	2	3
2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	4,1823	0,0000	0,0000	0,0001	0,0005	0,0001	0,0005	0,0007
2012	3	0,00007	9	0	8	7	8	1	2	4	0	5
2013	0,0001	0,00032	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0008	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001
2014	9	0,00032	5	8	6	4	9	3	0	1	4	7
2015	0,0003	0,00056	0,0002	0,0242								
2017	8	0,00056	9	0								
Загалом	0,0015	0,91729	0,0011	0,0015	0,3869	0,0005	0,0006	0,0006	0,0004	0,0007	0,0007	0,0008
м	8	0,91729	9	3	8	8	0	3	4	1	7	7



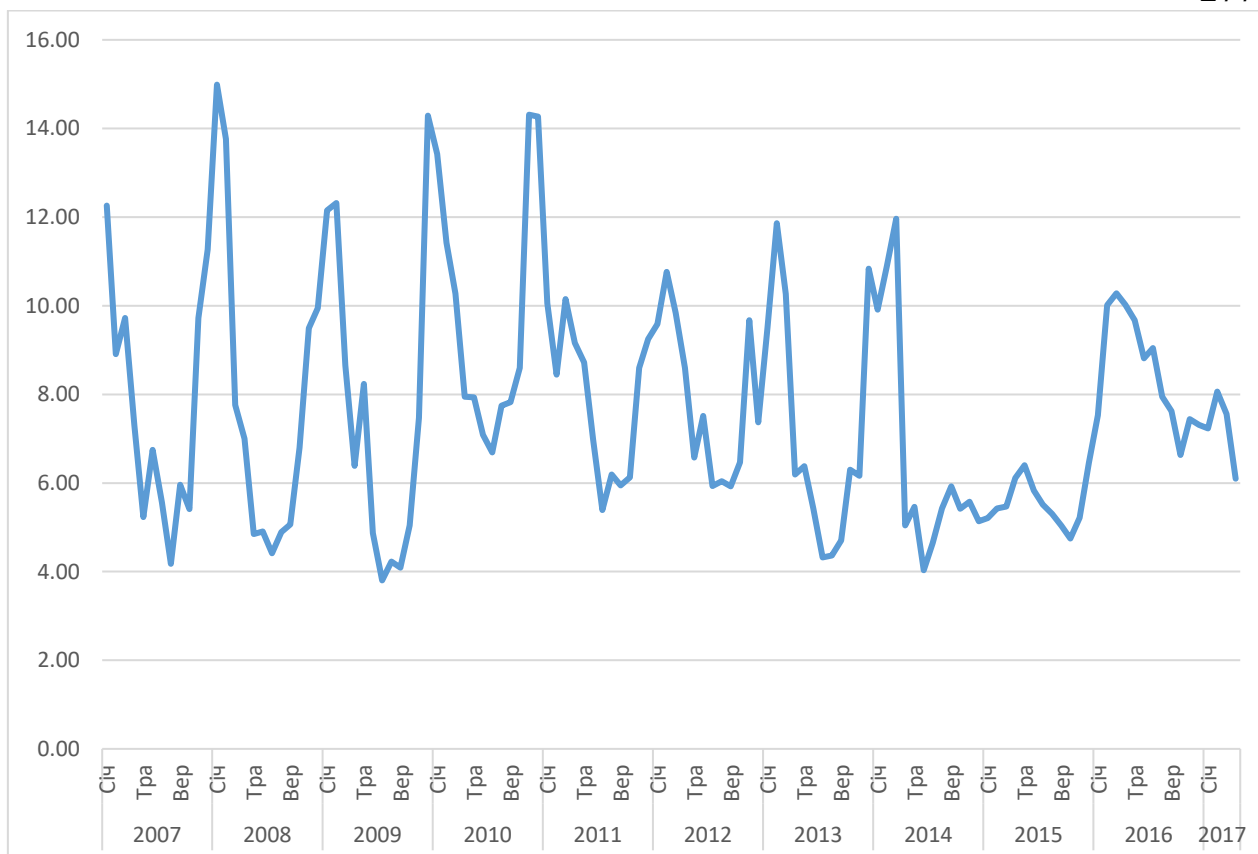
В.9 Показник якості води - азот нітратний

Кількість вимірів показника: Nitrate-ion

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загал підс
2007	10	8	8	9	9	8	9	9	8	10	8	9	105
2008	9	8	9	9	8	9	9	8	9	9	8	10	105
2009	8	6	9	9	8	9	9	9	9	8	9	9	102
2010	8	8	10	8	9	9	8	9	9	8	9	9	104
2011	9	8	9	8	9	9	8	9	8	9	9	8	103
2012	9	9	8	9	9	8	9	9	8	10	8	9	105
2013	9	8	8	9	9	8	10	8	9	9	8	9	104
2014	8	8	9	9	8	9	9	8	9	9	8	10	104
2015	8	8	9	8	7	9	8	9	9	8	9	9	101
2016	7	9	9	9	10	9	9	10	9	9	9	8	107
2017	9	8	9	2									28
Загалом	94	88	97	89	86	87	88	88	87	89	85	90	1068

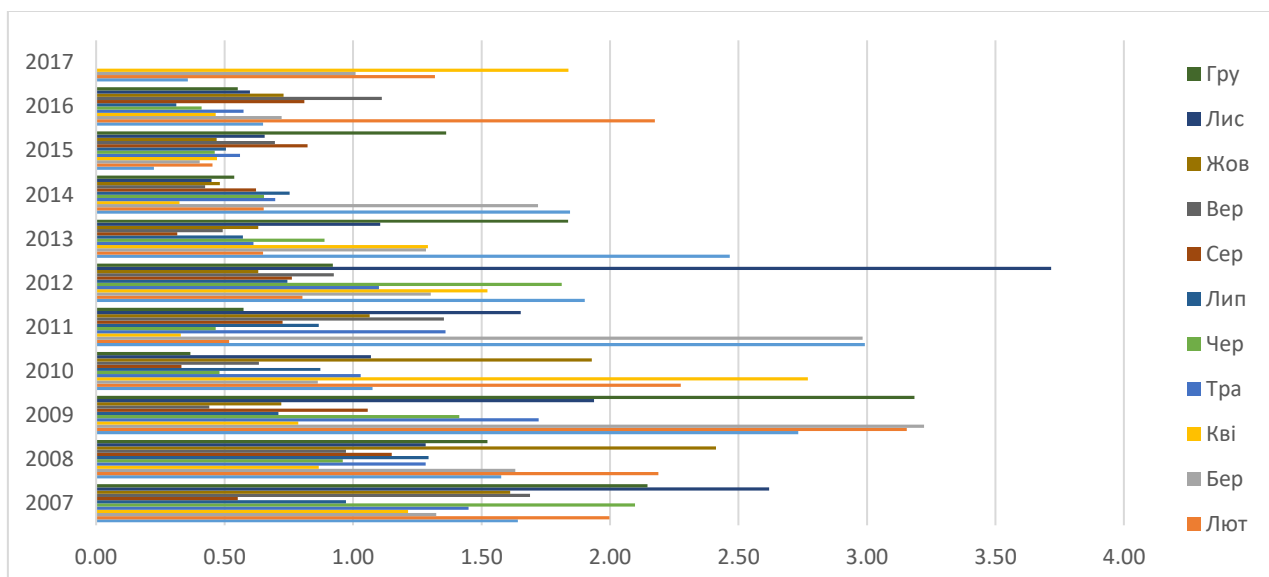
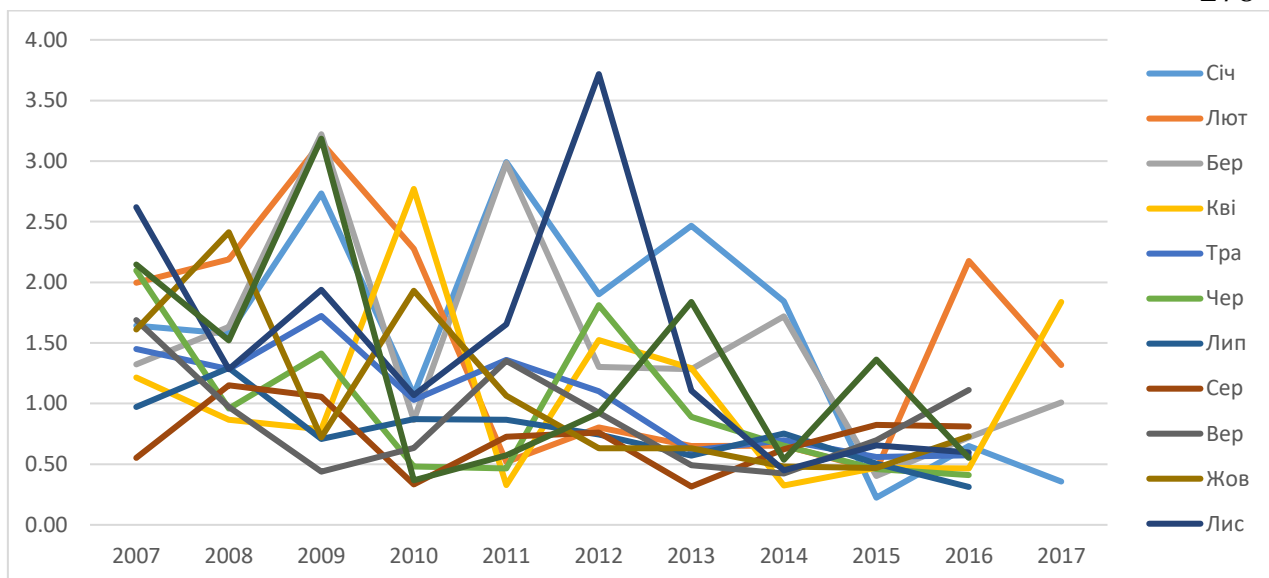
Розподілення значення параметрів азоту нітратного за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	12,26	8,91	9,73	7,30	5,23	6,75	5,57	4,17	5,96	5,41	9,72	11,27
2008	14,99	13,76	7,76	7,00	4,85	4,90	4,41	4,89	5,07	6,80	9,49	9,95
2009	12,15	12,32	8,65	6,38	8,24	4,87	3,80	4,23	4,09	5,05	7,47	14,29
2010	13,43	11,43	10,27	7,94	7,93	7,09	6,69	7,74	7,82	8,60	14,31	14,27
2011	10,06	8,45	10,15	9,16	8,72	6,99	5,39	6,19	5,95	6,12	8,60	9,25
2012	9,59	10,77	9,84	8,60	6,58	7,51	5,93	6,04	5,93	6,46	9,68	7,37
2013	9,51	11,86	10,26	6,19	6,38	5,43	4,32	4,36	4,70	6,30	6,16	10,83
2014	9,91	10,90	11,97	5,04	5,46	4,03	4,64	5,43	5,92	5,42	5,58	5,14
2015	5,21	5,43	5,47	6,11	6,40	5,83	5,51	5,30	5,03	4,75	5,22	6,46
2016	7,53	10,01	10,28	10,02	9,67	8,81	9,04	7,95	7,62	6,63	7,44	7,31
2017	7,23	8,06	7,56	6,10								
(пусто)												
Загалом	10,25	10,13	9,26	7,33	7,02	6,21	5,51	5,68	5,80	6,15	8,38	9,60



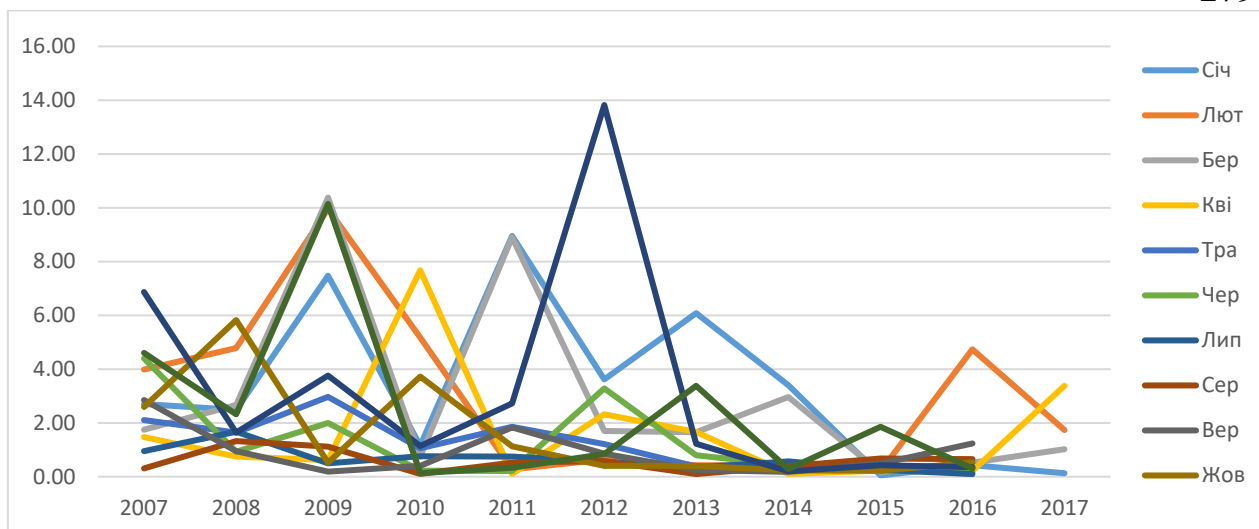
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - азот нітратний води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	1,64	2,00	1,32	1,21	1,45	2,10	0,97	0,55	1,69	1,61	2,62	2,15
2008	1,58	2,19	1,63	0,87	1,28	0,96	1,29	1,15	0,97	2,41	1,28	1,52
2009	2,73	3,15	3,22	0,79	1,72	1,41	0,71	1,06	0,44	0,72	1,94	3,18
2010	1,08	2,28	0,86	2,77	1,03	0,48	0,87	0,33	0,63	1,93	1,07	0,37
2011	2,99	0,52	2,98	0,33	1,36	0,46	0,87	0,73	1,35	1,06	1,65	0,57
2012	1,90	0,80	1,30	1,52	1,10	1,81	0,74	0,76	0,93	0,63	3,72	0,92
2013	2,47	0,65	1,28	1,29	0,61	0,89	0,57	0,32	0,49	0,63	1,11	1,84
2014	1,84	0,65	1,72	0,32	0,70	0,65	0,75	0,62	0,42	0,48	0,45	0,54
2015	0,22	0,45	0,40	0,47	0,56	0,46	0,51	0,82	0,70	0,47	0,66	1,36
2016	0,65	2,18	0,72	0,47	0,57	0,41	0,31	0,81	1,11	0,73	0,60	0,55
2017	0,36	1,32	1,01	1,84								
(пусто)												
Загалом	3,25	2,71	2,37	1,87	1,89	1,75	1,64	1,51	1,46	1,56	3,08	3,36



Зміщена дисперсія по полю - азот нітратний води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	2,70	3,99	1,75	1,47	2,10	4,40	0,94	0,30	2,85	2,60	6,86	4,61
2008	2,49	4,79	2,66	0,75	1,65	0,92	1,67	1,32	0,94	5,82	1,65	2,32
2009	7,47	9,95	10,38	0,62	2,97	2,00	0,50	1,12	0,19	0,52	3,76	10,14
2010	1,16	5,18	0,74	7,68	1,06	0,23	0,76	0,11	0,40	3,72	1,14	0,13
2011	8,95	0,27	8,90	0,11	1,85	0,22	0,75	0,53	1,83	1,13	2,73	0,33
2012	3,62	0,65	1,70	2,32	1,21	3,28	0,55	0,58	0,86	0,40	13,82	0,85
2013	6,08	0,42	1,65	1,67	0,37	0,79	0,33	0,10	0,24	0,40	1,22	3,38
2014	3,40	0,43	2,96	0,11	0,49	0,43	0,57	0,39	0,18	0,23	0,20	0,29
2015	0,05	0,21	0,16	0,22	0,31	0,21	0,26	0,68	0,48	0,22	0,43	1,86
2016	0,42	4,73	0,52	0,22	0,33	0,17	0,10	0,66	1,24	0,53	0,36	0,30
2017	0,13	1,74	1,02	3,38								
Загалом	10,55	7,33	5,62	3,51	3,56	3,05	2,68	2,28	2,13	2,43	9,48	11,29



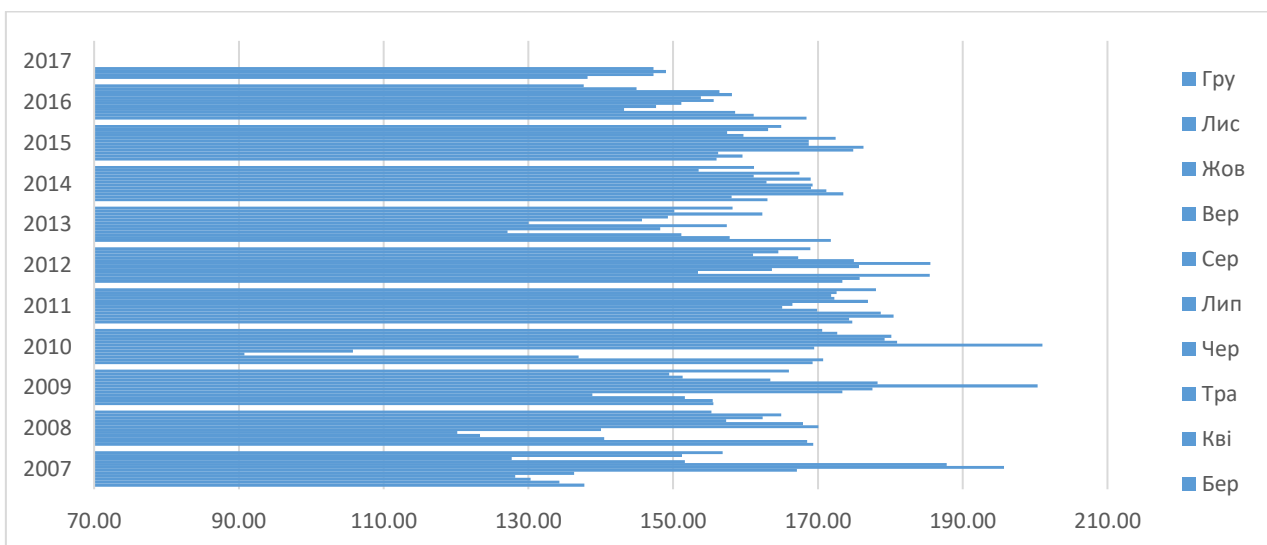
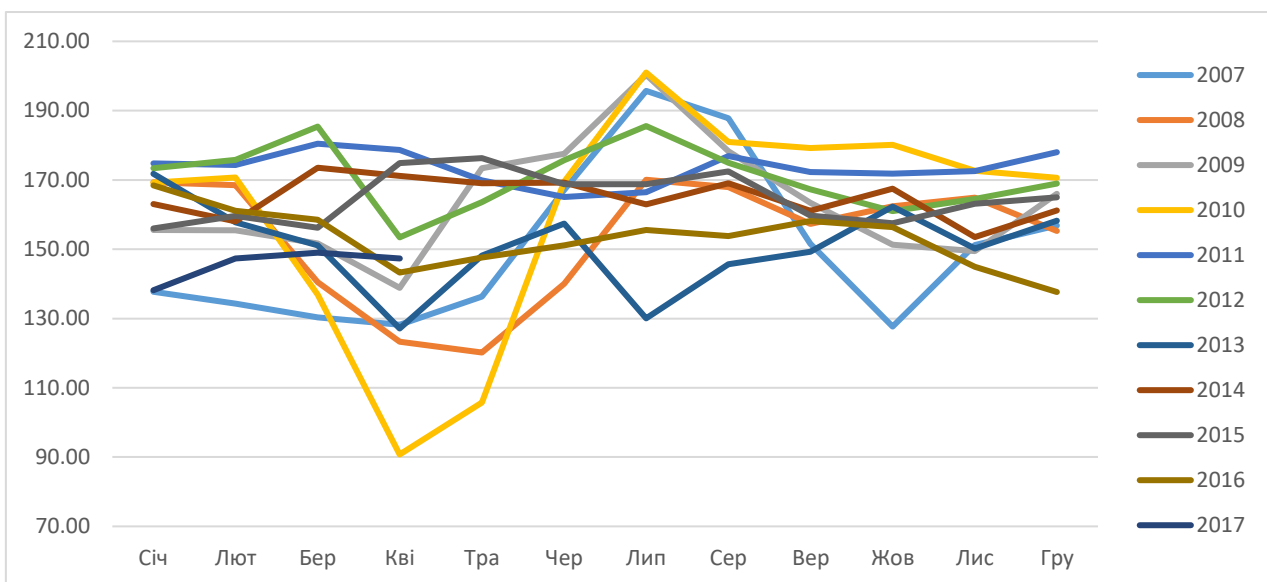
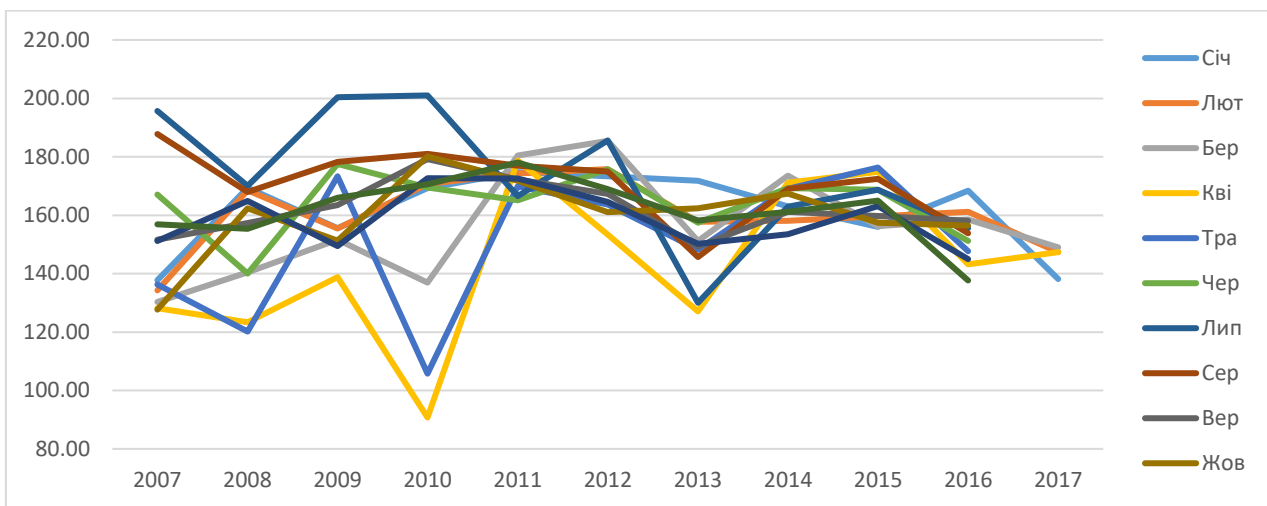
В.10 Показник якості води - хлориди

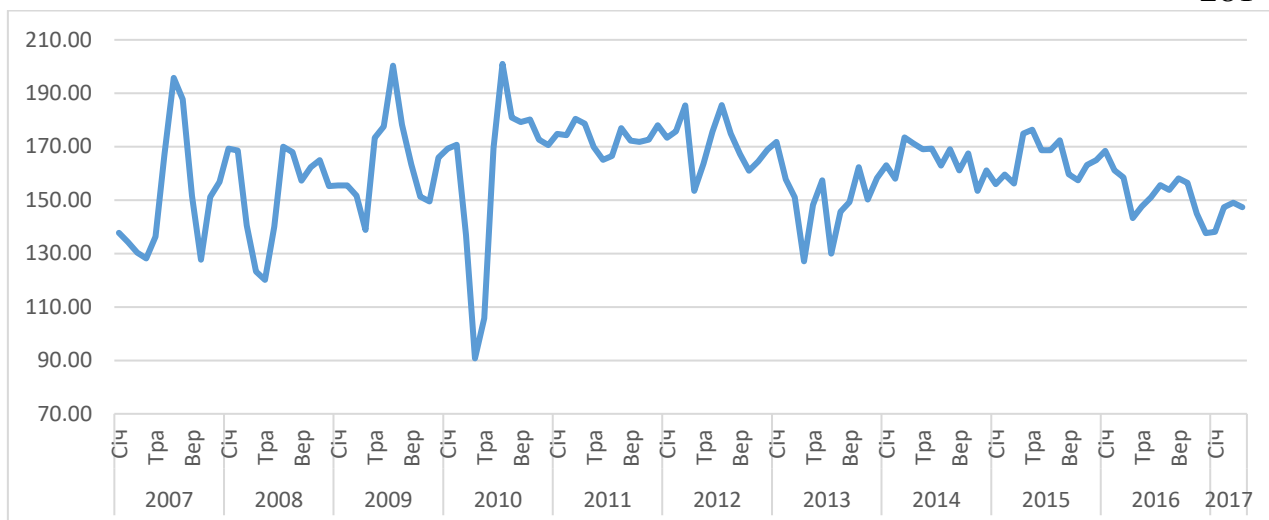
Кількість вимірів показника: Chloride-ion

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загал підс
2007	9	8	8	7	9	9	9	9	8	9	9	8	102
2008	9	9	8	9	9	8	9	9	9	9	8	9	105
2009	8	8	9	8	9	9	9	8	9	9	8	9	103
2010	8	8	9	8	8	9	9	9	8	9	9	8	102
2011	8	8	9	8	9	8	9	9	9	8	9	9	103
2012	9	8	9	8	9	9	9	9	4	5	4	4	87
2013	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	52
2014	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	52
2015	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	52
2016	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	52
2017	5	4	4	1									14
Загалом	73	69	74	67	70	69	72	70	65	66	64	65	824

Розподілення значення параметрів хлориди за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

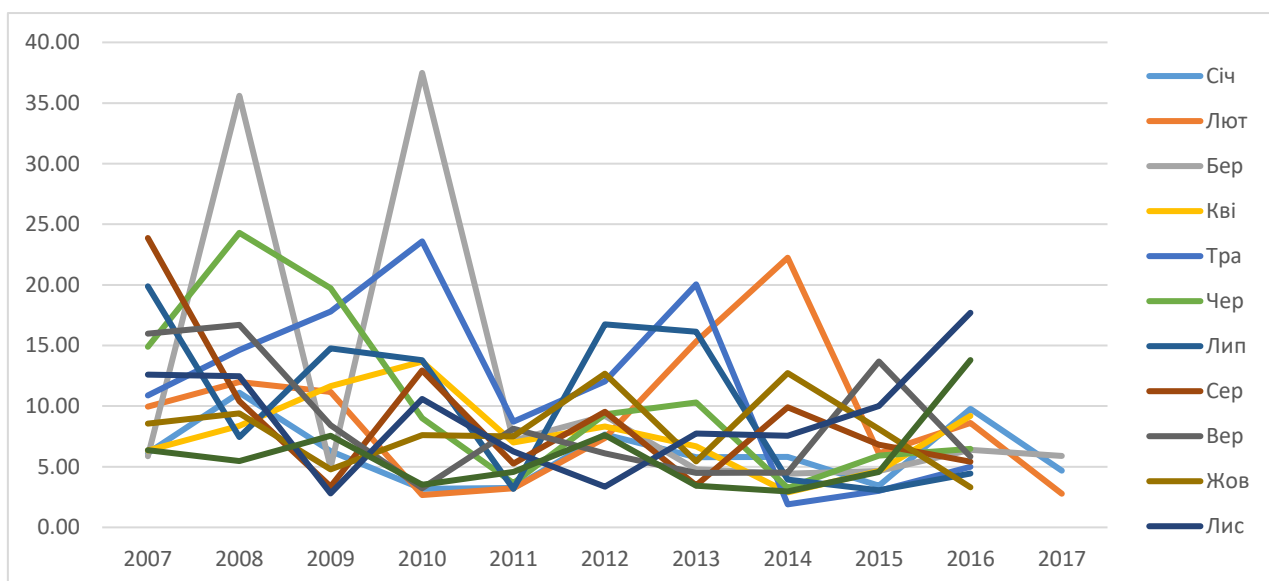
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	137,74	134,26	130,30	128,16	136,32	167,11	195,71	187,79	151,60	127,68	151,23	156,85
2008	169,33	168,52	140,49	123,31	120,18	140,02	170,06	167,94	157,31	162,38	164,91	155,29
2009	155,54	155,46	151,63	138,84	173,37	177,54	200,37	178,25	163,43	151,30	149,46	165,98
2010	169,26	170,70	136,92	90,75	105,76	169,49	201,00	180,93	179,20	180,14	172,66	170,59
2011	174,76	174,33	180,46	2444,05	169,88	165,08	166,47	176,91	172,27	171,81	172,58	178,03
2012	173,36	175,75	185,44	153,43	163,63	175,69	185,56	174,96	167,28	161,02	164,53	168,95
2013	171,78	157,80	151,13	127,12	148,20	157,40	130,02	145,68	149,28	162,32	150,18	158,20
2014	163,01	158,08	173,53	171,16	169,03	169,25	162,90	169,00	161,14	167,45	153,50	161,18
2015	156,00	159,58	156,20	174,88	176,30	168,72	168,73	172,45	159,70	157,48	163,13	164,94
2016	168,43	161,13	158,54	143,23	147,62	151,13	155,58	153,84	158,13	156,40	144,96	137,65
2017	138,16	147,30	149,00	147,30								
Загалом	161,92	161,39	155,74	410,96	148,98	165,27	178,25	173,44	162,87	159,24	159,90	163,12





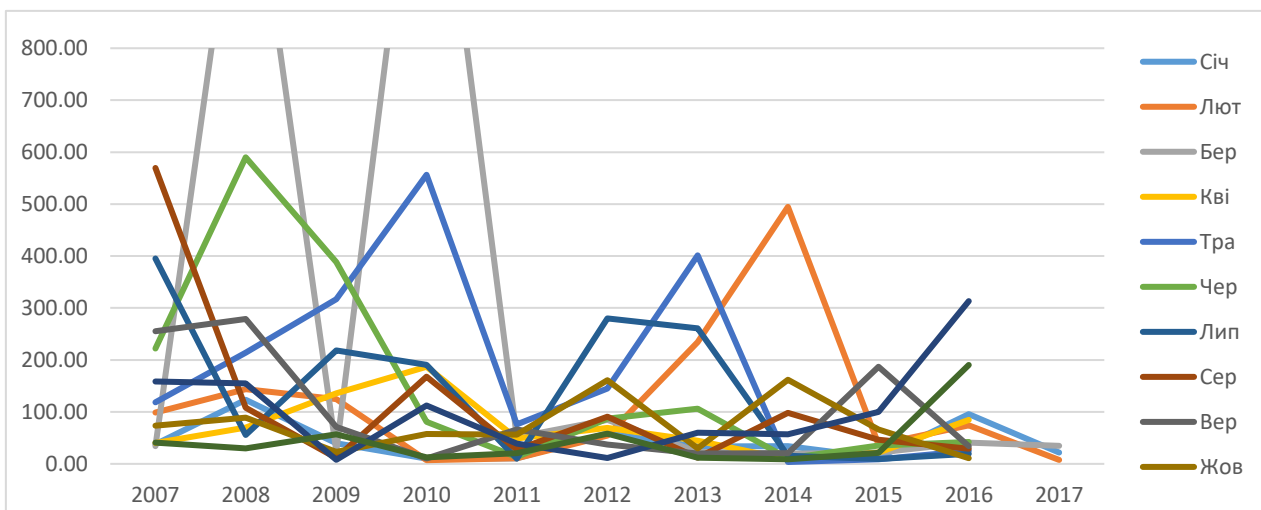
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - хлориди води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	6,13	9,95	5,86	6,34	10,88	14,91	19,88	23,87	15,98	8,56	12,59	6,37
2008	11,11	11,99	35,59	8,37	14,63	24,29	7,45	10,39	16,70	9,42	12,46	5,46
2009	6,28	11,16	4,95	11,66	17,81	19,72	14,77	3,37	8,42	4,79	2,80	7,55
2010	3,18	2,67	37,48	13,67	23,59	8,99	13,80	12,95	3,23	7,60	10,59	3,53
2011	3,26	3,23	7,16	7,00	8,71	3,64	3,16	5,25	8,14	7,51	6,26	4,57
2012	7,65	7,38	9,18	8,31	12,04	9,33	16,73	9,52	6,10	12,69	3,35	7,61
2013	5,79	15,31	4,78	6,69	20,03	10,30	16,14	3,47	4,50	5,43	7,73	3,45
2014	5,83	22,24	4,43	2,89	1,90	3,26	3,92	9,90	4,52	12,73	7,56	2,96
2015	3,45	6,10	4,66	4,66	3,02	5,93	3,06	6,81	13,67	8,12	10,00	4,57
2016	9,78	8,61	6,40	9,20	4,99	6,48	4,43	5,42	5,85	3,31	17,70	13,80
2017	4,68	2,78	5,89	#ДЕЛ/0!								
Загалом	14,65	15,80	25,51	27,90	27,42	17,09	23,66	15,42	13,40	17,10	13,80	11,44



Зміщена дисперсія по полю - хлориди води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	37,54	99,02	34,31	40,24	118,43	222,24	395,29	569,55	255,30	73,30	158,61	40,62
2008	123,37	143,64	1266,42	70,06	214,06	590,06	55,57	108,04	278,90	88,66	155,17	29,78
2009	39,43	124,56	24,51	135,91	317,17	388,69	218,27	11,35	70,88	22,91	7,85	57,00
2010	10,10	7,11	1404,88	186,92	556,43	80,90	190,32	167,68	10,42	57,75	112,09	12,45
2011	10,65	10,45	51,27	49,06	75,93	13,23	9,99	27,55	66,32	56,40	39,13	20,87
2012	58,53	54,42	84,34	69,13	144,90	87,11	280,04	90,69	37,26	160,92	11,23	57,87
2013	33,57	234,31	22,87	44,82	401,31	106,17	260,57	12,06	20,22	29,52	59,76	11,88
2014	33,94	494,63	19,61	8,33	3,60	10,60	15,41	97,93	20,41	161,94	57,17	8,79
2015	11,88	37,26	21,71	21,72	9,14	35,16	9,38	46,38	186,84	65,88	99,95	20,91
2016	95,70	74,20	40,99	84,73	24,85	42,01	19,61	29,41	34,23	10,94	313,22	190,36
2017	21,87	7,71	34,68									



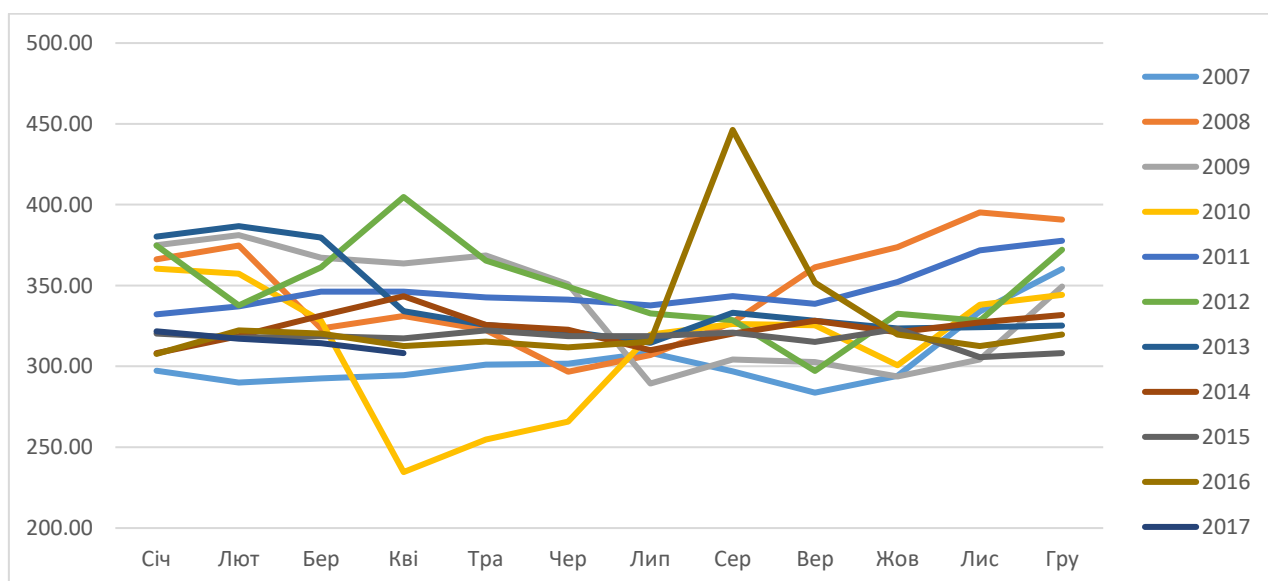
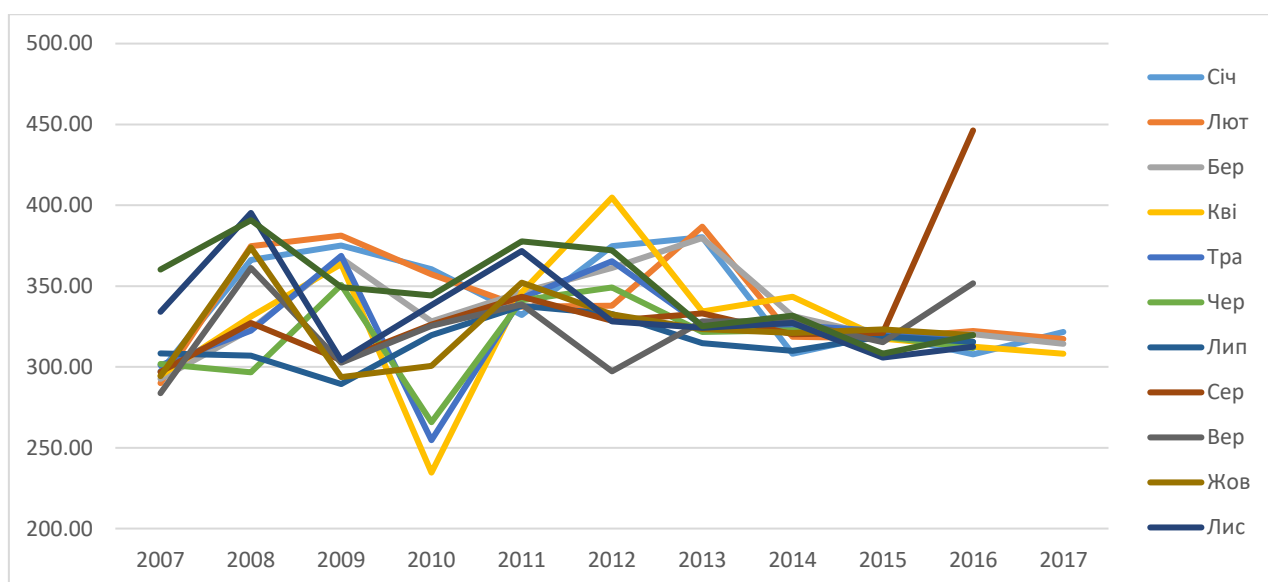
В.11 Показник якості води - сульфати

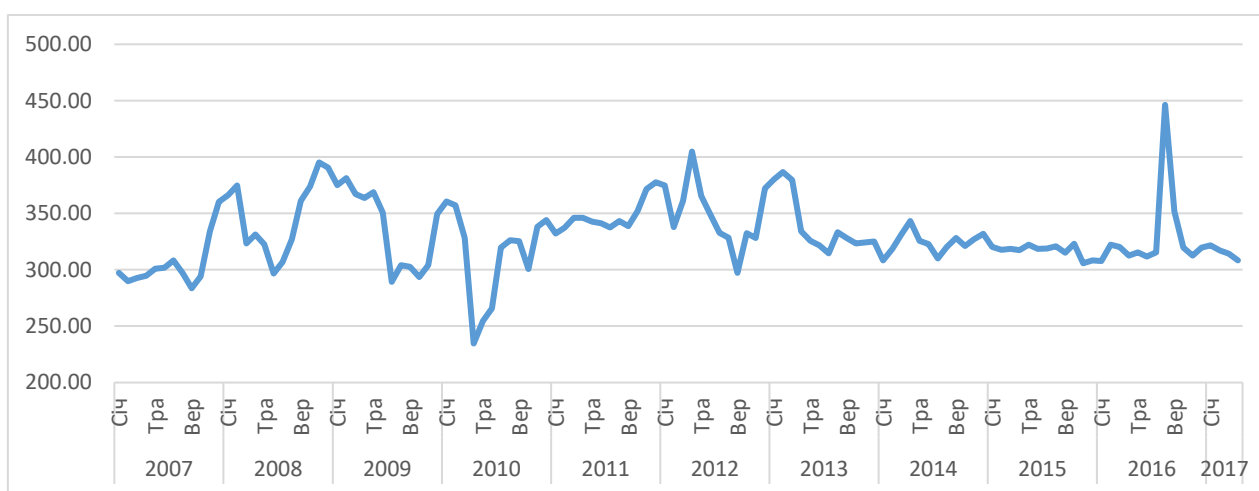
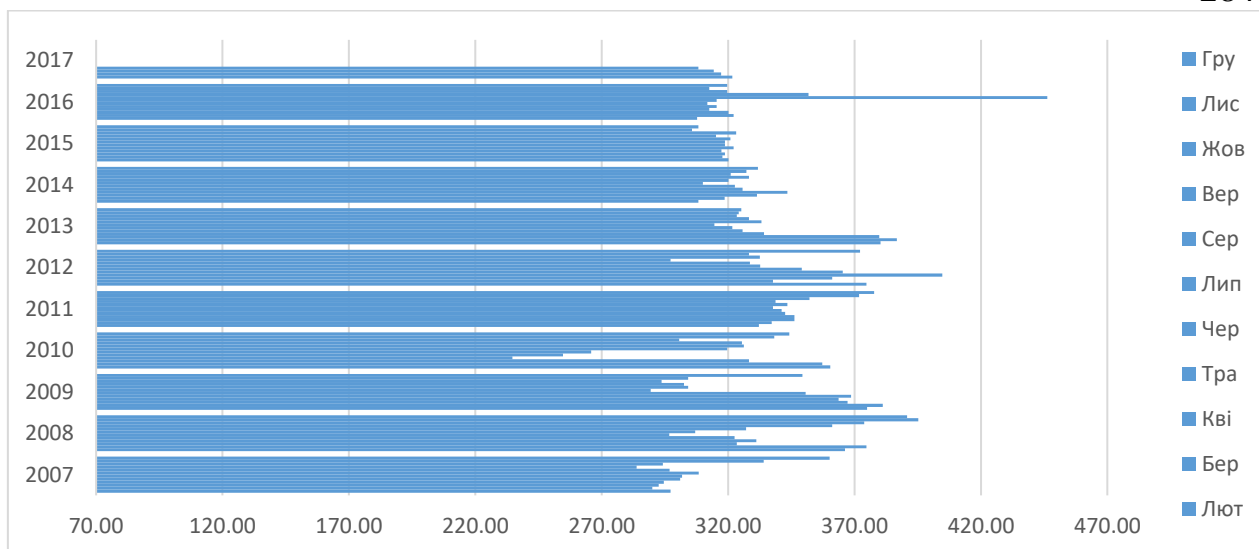
Кількість вимірів показника: Sulfate-ion

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загал підс
2007	5	4	4	6	4	4	5	4	4	5	4	4	53
2008	5	4	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	53
2009	5	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	5	53
2010	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	52
2011	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	52
2012	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	52
2013	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	52
2014	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	53
2015	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	52
2016	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	56
2017	4	4	5	1									14
Загалом	49	45	49	47	44	42	47	44	44	45	42	44	542

Розподілення значення параметрів сульфати за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

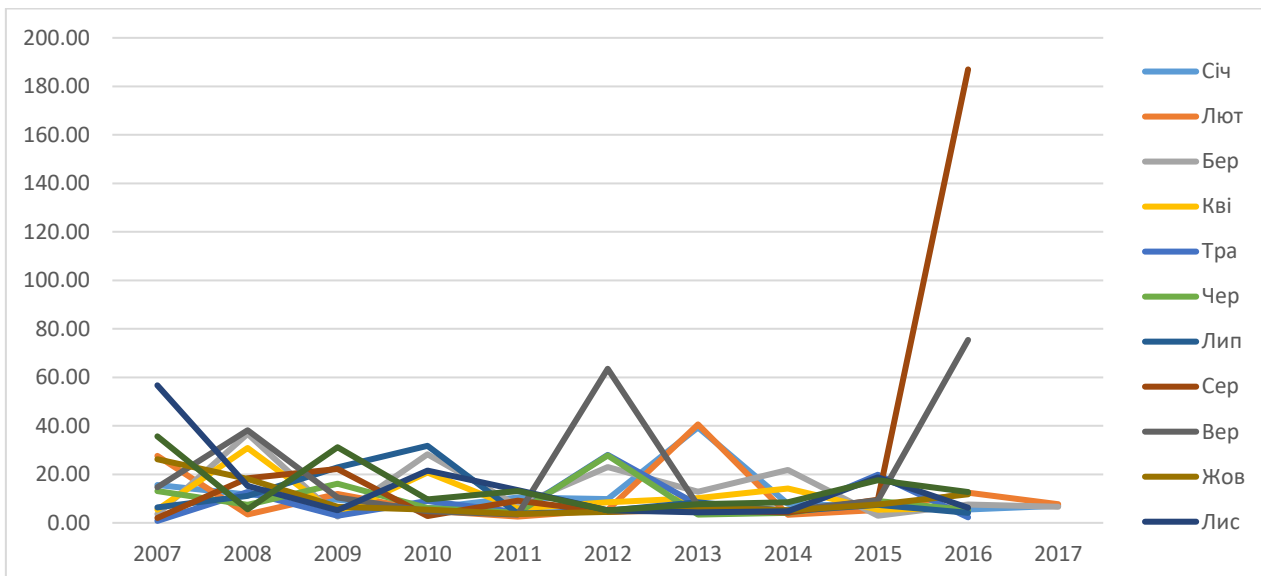
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	297,24	289,98	292,60	294,60	301,03	301,75	308,34	296,90	283,75	294,22	334,05	360,20
2008	366,20	374,70	323,40	331,20	322,50	296,70	307,00	327,15	361,20	373,84	395,25	390,75
2009	375,00	381,20	367,20	363,70	368,70	350,70	289,40	304,20	302,60	293,70	304,20	349,40
2010	360,45	357,30	328,20	234,63	254,70	265,80	319,70	326,20	325,40	300,70	338,20	344,20
2011	332,20	337,20	346,20	346,20	342,60	341,20	337,70	343,40	338,70	352,20	371,80	377,70
2012	374,70	337,80	361,20	404,78	365,40	349,20	332,70	328,60	297,18	332,60	328,20	372,20
2013	380,24	386,75	379,73	334,20	325,70	321,70	314,60	333,20	328,20	323,40	324,20	325,20
2014	308,20	318,68	331,45	343,40	325,70	322,70	310,00	320,20	328,20	321,00	327,20	331,80
2015	320,20	317,70	318,70	317,40	322,20	318,70	318,80	320,95	315,20	323,20	305,70	308,20
2016	307,70	322,20	320,20	312,60	315,40	311,80	315,40	446,28	351,74	319,70	312,60	319,70
2017	321,70	317,20	314,28	308,20								
Загалом	340,86	340,01	333,98	326,29	325,49	316,63	314,43	337,36	323,26	324,07	334,52	346,61





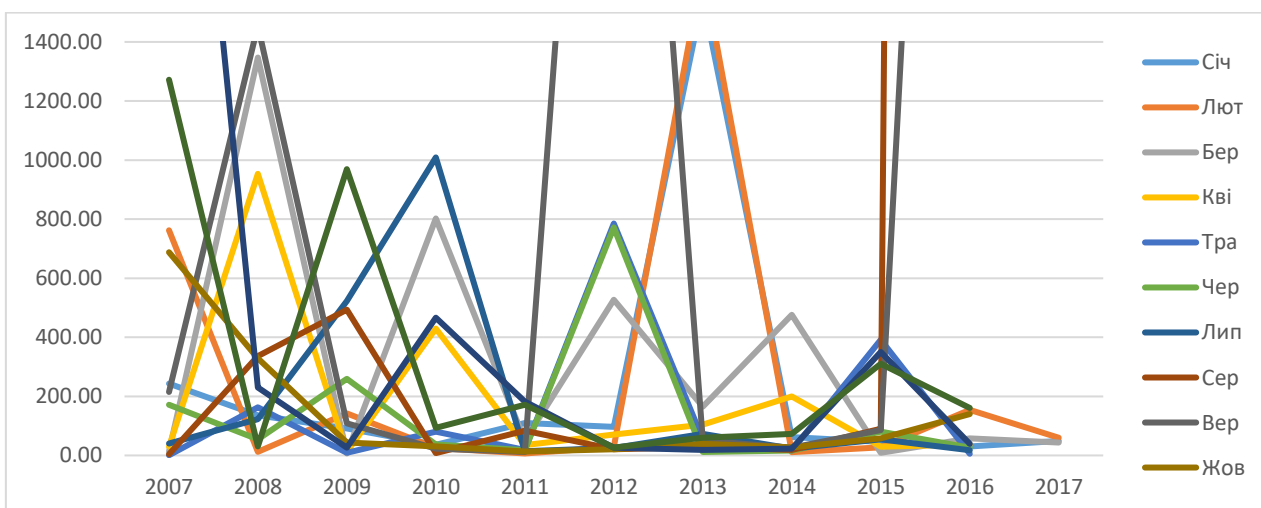
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - сульфати води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	15,58	27,60	3,61	5,40	0,80	13,09	6,37	2,02	14,67	26,23	56,71	35,67
2008	11,66	3,42	36,70	30,88	12,75	7,37	11,10	18,34	38,14	18,13	15,16	5,56
2009	9,55	11,94	2,58	3,42	3,00	16,11	22,87	22,21	10,43	6,61	5,16	31,13
2010	6,00	5,06	28,32	20,72	9,00	6,07	31,76	2,83	4,82	5,51	21,60	9,70
2011	10,46	2,58	7,07	5,89	4,34	4,16	3,79	9,12	3,42	3,65	13,52	13,10
2012	9,85	5,37	22,95	8,42	28,02	27,78	5,00	4,56	63,58	4,56	5,16	5,16
2013	39,36	40,60	12,84	10,20	7,37	3,42	8,53	5,29	7,12	6,26	4,32	7,75
2014	7,87	3,38	21,81	14,11	4,12	4,12	4,82	4,32	5,16	5,22	4,76	8,53
2015	6,73	5,26	3,00	5,40	19,80	9,00	7,40	9,50	9,27	7,57	18,72	17,61
2016	5,51	12,44	7,62	6,07	2,28	5,18	4,15	186,99	75,44	11,82	6,23	12,69
2017	7,00	7,75	6,64	#ДЕЛ/0!								
Загалом	33,87	32,83	29,12	41,99	32,52	27,71	17,43	71,93	38,41	26,82	33,47	30,21



Зміщена дисперсія по полю - сульфати води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	242,6 3	761,70	13,03 1347,2	29,12	0,64 162,4	171,4 0	40,58	4,07	215,35 1454,6	687,9 328,6	3216,3 0	1272,0 0
2008	136,0	11,67	0	953,33	5	54,33 259,6	123,20	336,41	7	4	229,74	30,94
2009	91,20	142,67	6,67	11,67	9,00	7	523,20 1009,0	493,33	108,80	43,67	26,67	969,20
2010	35,98 109,3	25,64	802,00	429,50	81,00	36,80	0	8,00	23,20	30,33	466,67	94,00
2011	3	6,67	50,00	34,67	18,80 785,2	17,33 772,0	14,33	83,20	11,67 4042,3	13,33	182,80	171,67
2012	97,00 1549,	28,80 1648,1	526,67	70,90	0	0	25,00	20,80	4	20,80	26,67	26,67
2013	3	4	164,77	104,00	54,33	11,67	72,80	28,00	50,67	39,20	18,67	60,00
2014	62,00	11,44	475,58	199,20	17,00 392,0	17,00	23,20	18,67	26,67	27,20	22,67	72,80
2015	45,33	27,67	9,00	29,20	0	81,00	54,80	90,25 34964,8	86,00 5690,8	57,33 139,6	350,33	310,00
2016	30,33	154,67	58,00	36,80	5,20	26,80	17,20	1	0	7	38,80	161,00
2017	49,00	60,00	44,03	#ДЕЛ/0 !								



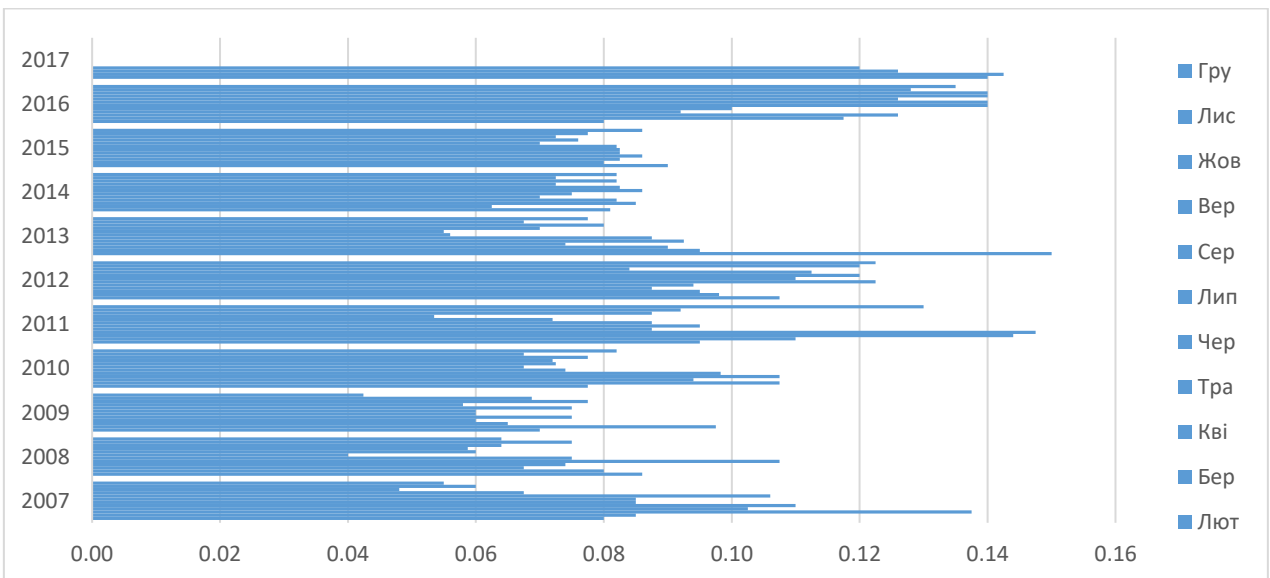
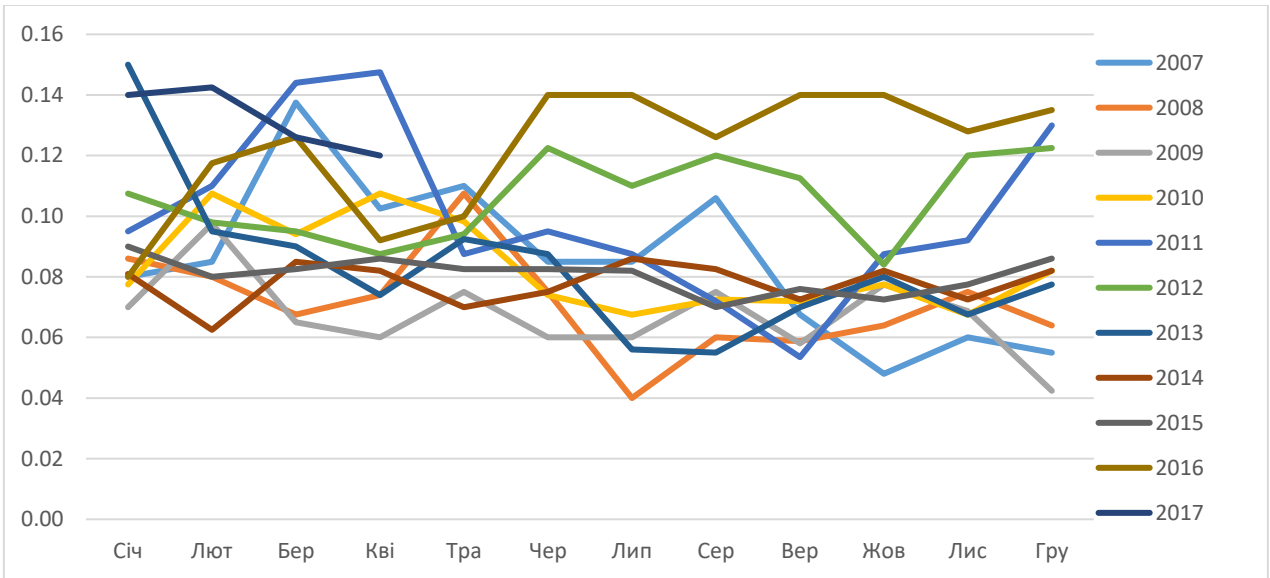
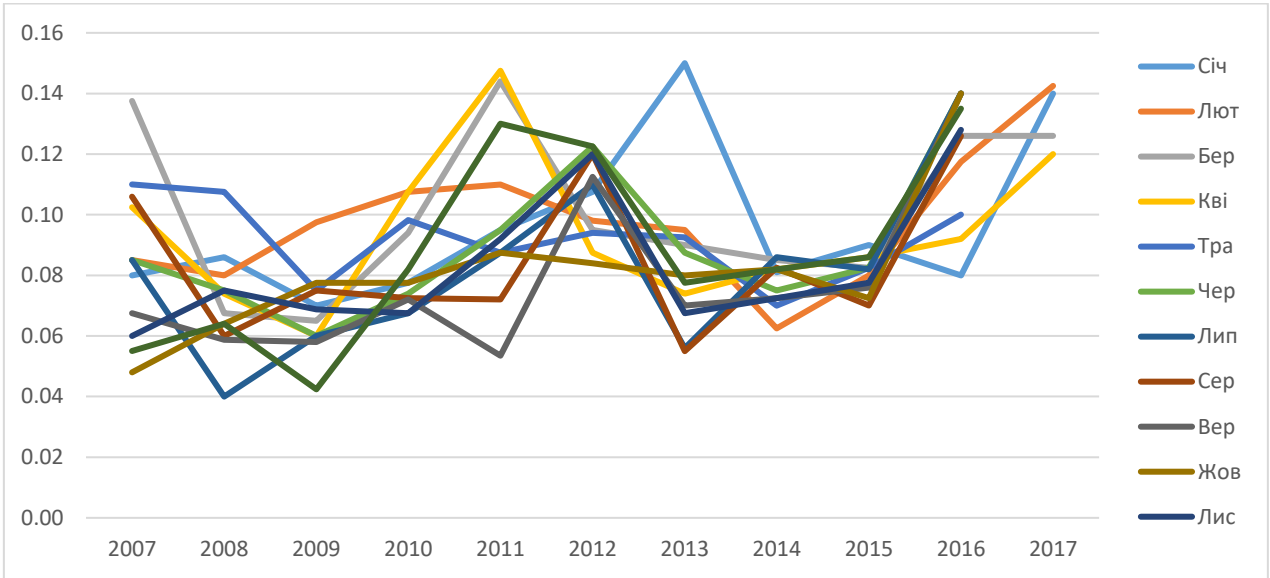
В.12 Показник якості води - іони заліза

Кількість вимірів показника: Iron-іон

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	48
Лют	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	45
Бер	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	48
Кві	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5	1	47
Тра	5	4	4	4	4	5	4	4	4	5		43
Чер	2	4	4	5	4	4	4	4	4	5		40
Лип	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5		46
Сер	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5		44
Вер	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5		44
Жов	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4		45
Лис	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5		42
Гру	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4		45
Загалом	50	53	52	52	51	52	52	53	52	56	14	537

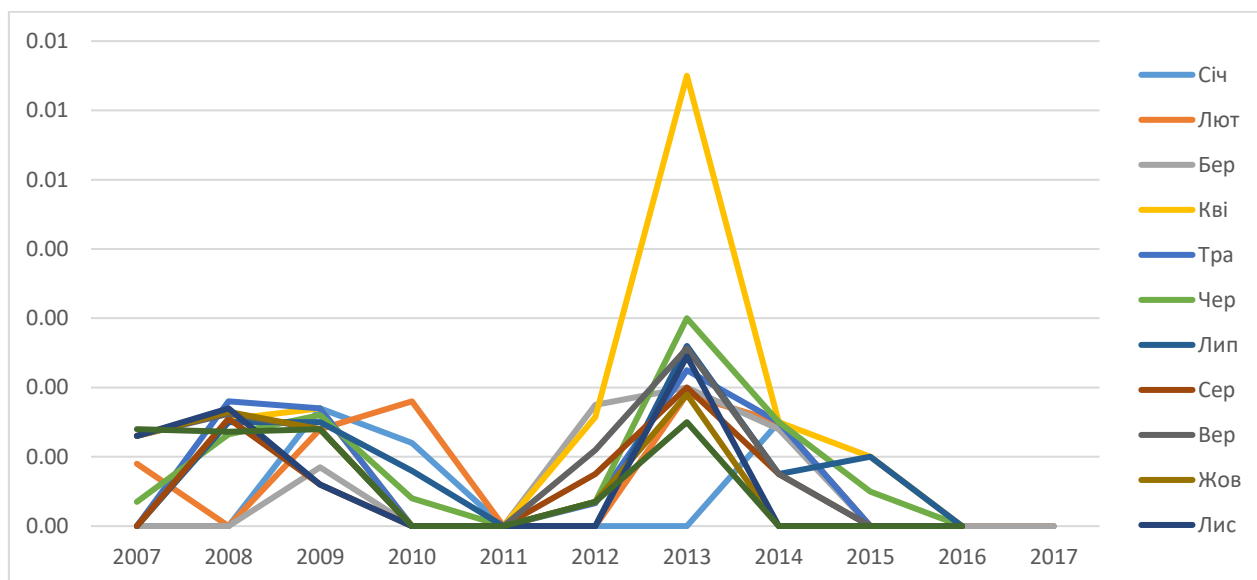
Розподілення значення параметрів іони заліза за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

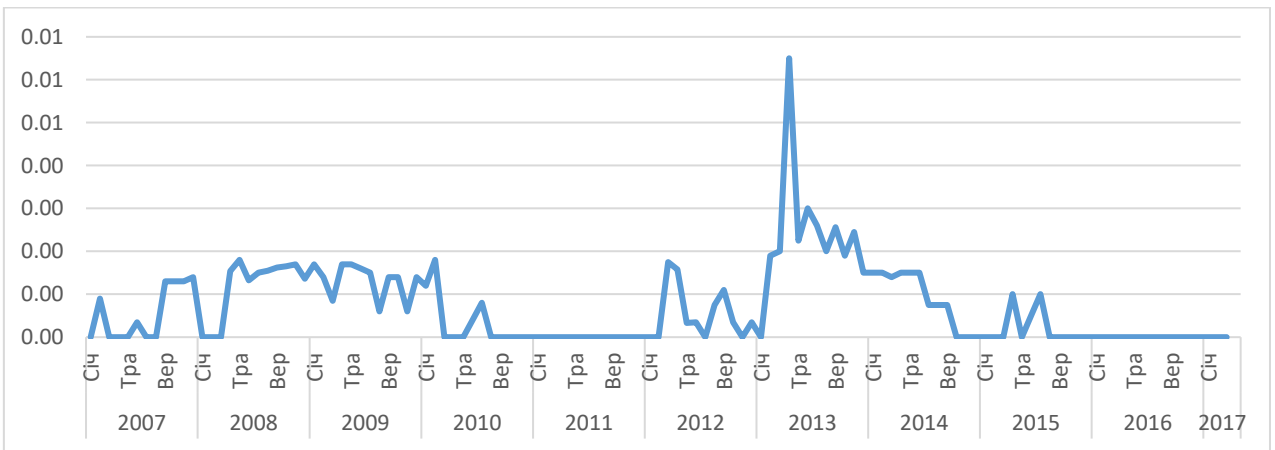
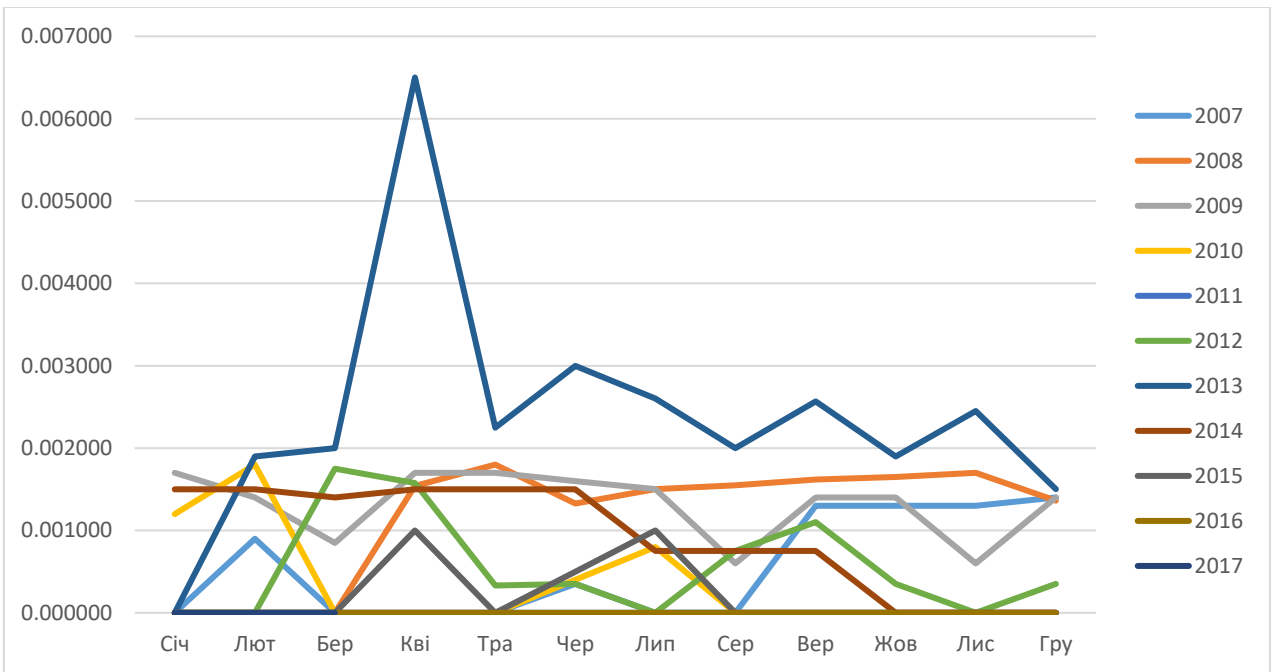
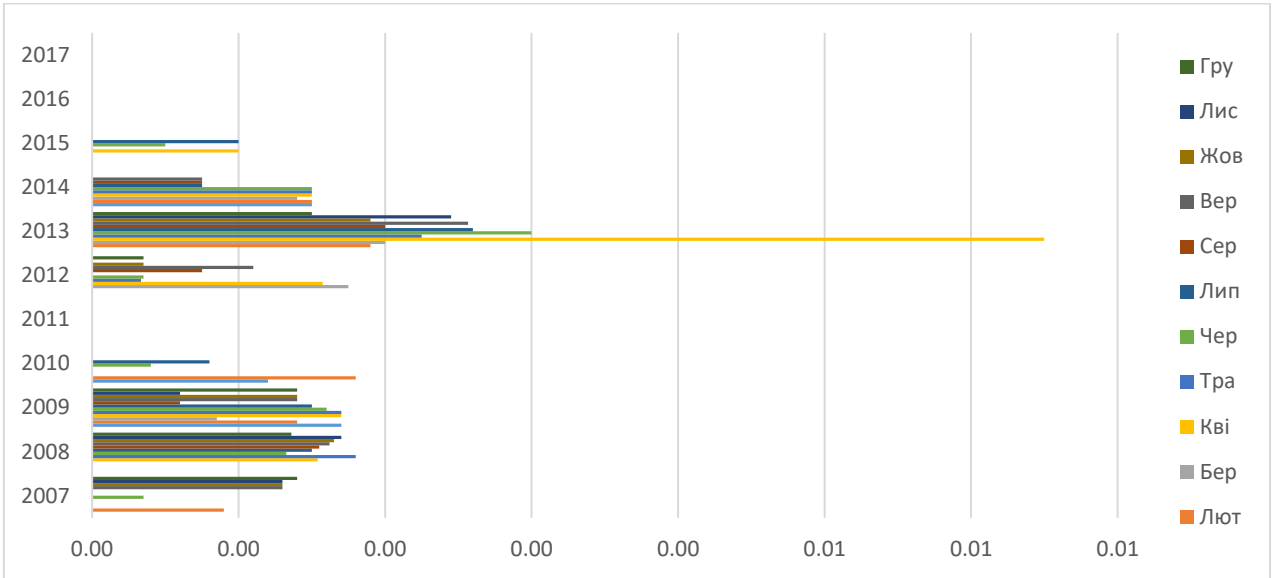
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,08	0,09	0,14	0,10	0,11	0,09	0,09	0,11	0,07	0,05	0,06	0,06
2008	0,09	0,08	0,07	0,07	0,11	0,08	0,04	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06
2009	0,07	0,10	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,07	0,04
2010	0,08	0,11	0,09	0,11	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
2011	0,10	0,11	0,14	0,15	0,09	0,10	0,09	0,07	0,05	0,09	0,09	0,13
2012	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,12	0,11	0,12	0,11	0,08	0,12	0,12
2013	0,15	0,10	0,09	0,07	0,09	0,09	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08
2014	0,08	0,06	0,09	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08
2015	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09
2016	0,08	0,12	0,13	0,09	0,10	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14
2017	0,14	0,14	0,13	0,12								
Загалом	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09



Розподілення значення параметрів феноли за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

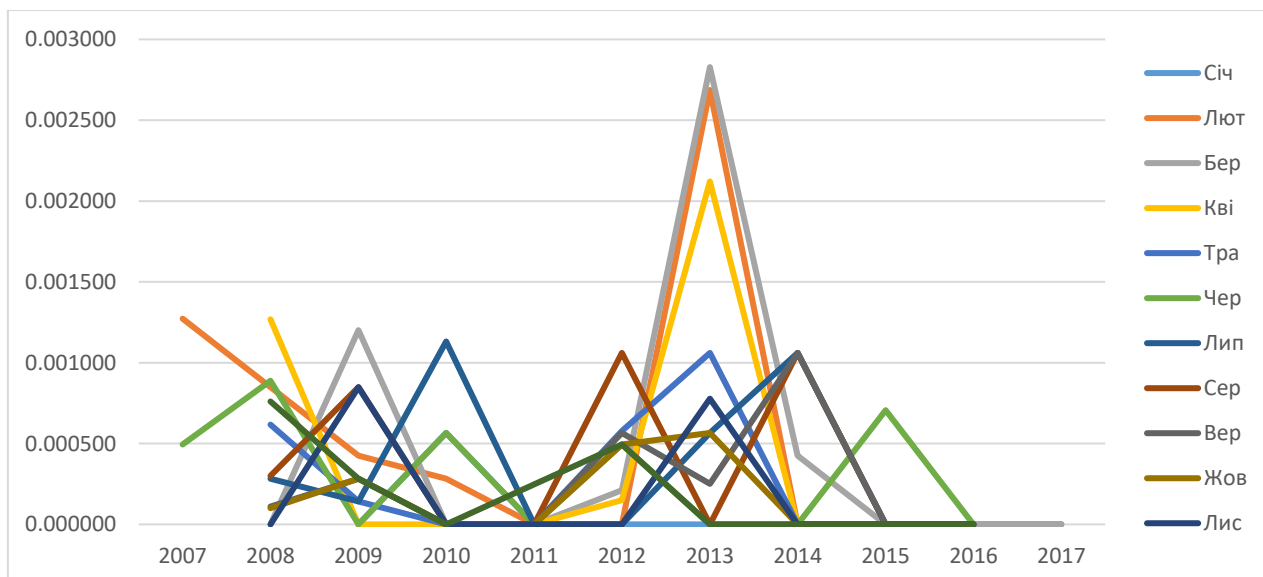
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
	000	900	000	000	000	350	000	000	300	300	300	400
2008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	000	000	000	540	800	325	500	550	620	650	700	360
2009	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
	700	400	850	700	700	600	500	600	400	400	600	400
2010	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	200	800	000	000	000	400	800	000	000	000	000	000
2011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
2012	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
	000	000	750	575	333	350	000	750	100	350	000	350
2013	0,000	0,001	0,002	0,006	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
	000	900	000	500	250	000	600	000	567	900	450	500
2014	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	500	500	400	500	500	500	750	750	750	000	000	000
2015	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	000	000	000	000	000	500	000	000	000	000	000	000
2016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
2017	0,000	0,000	0,000									
	000	000	000									
Загалом	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	440	714	545	274	796	900	945	626	983	724	676	700





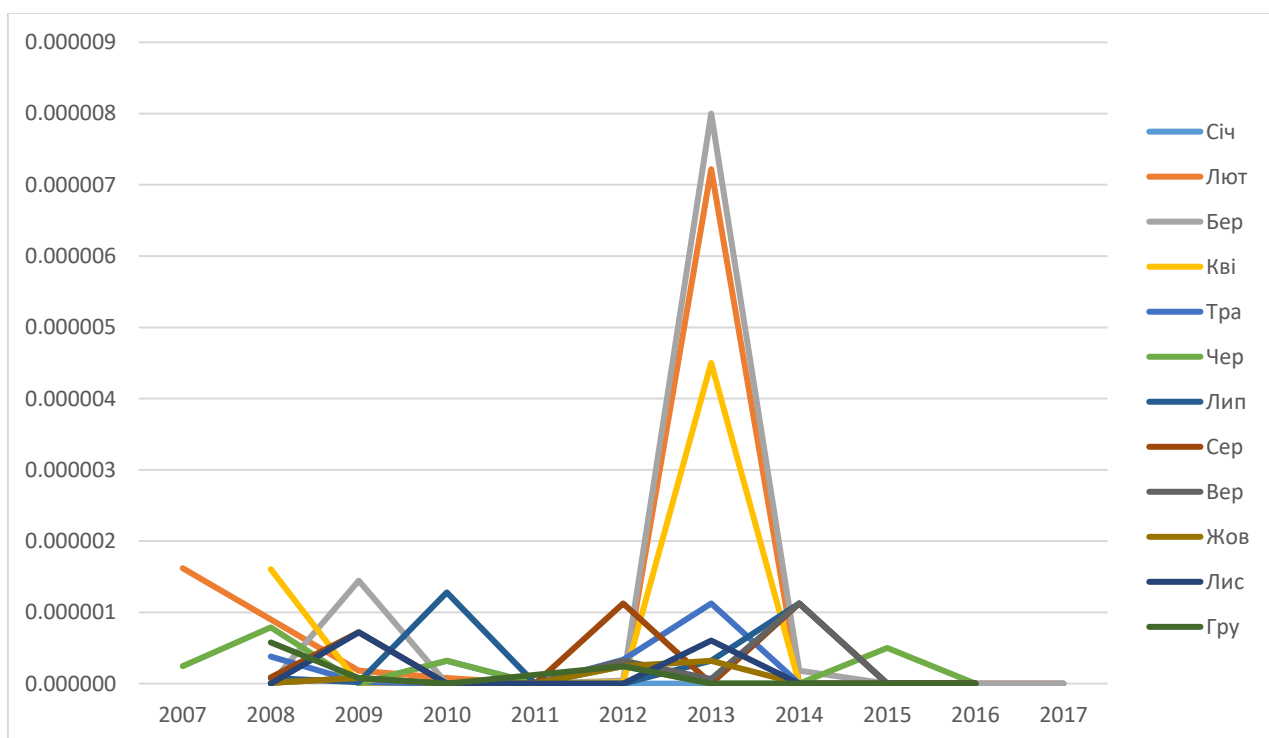
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - феноли води

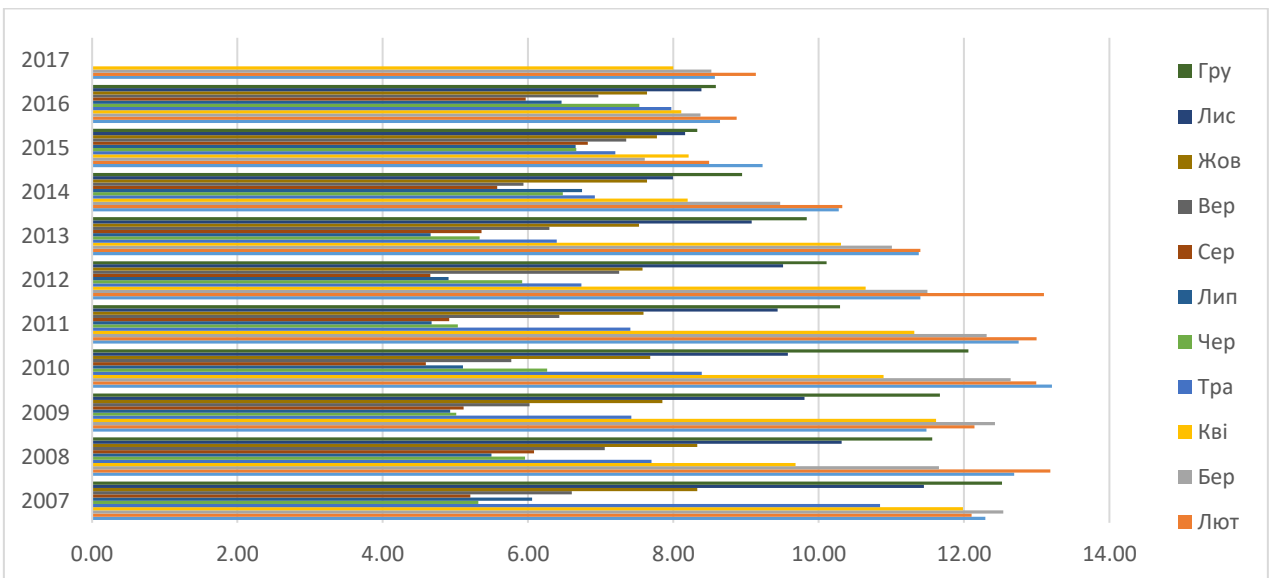
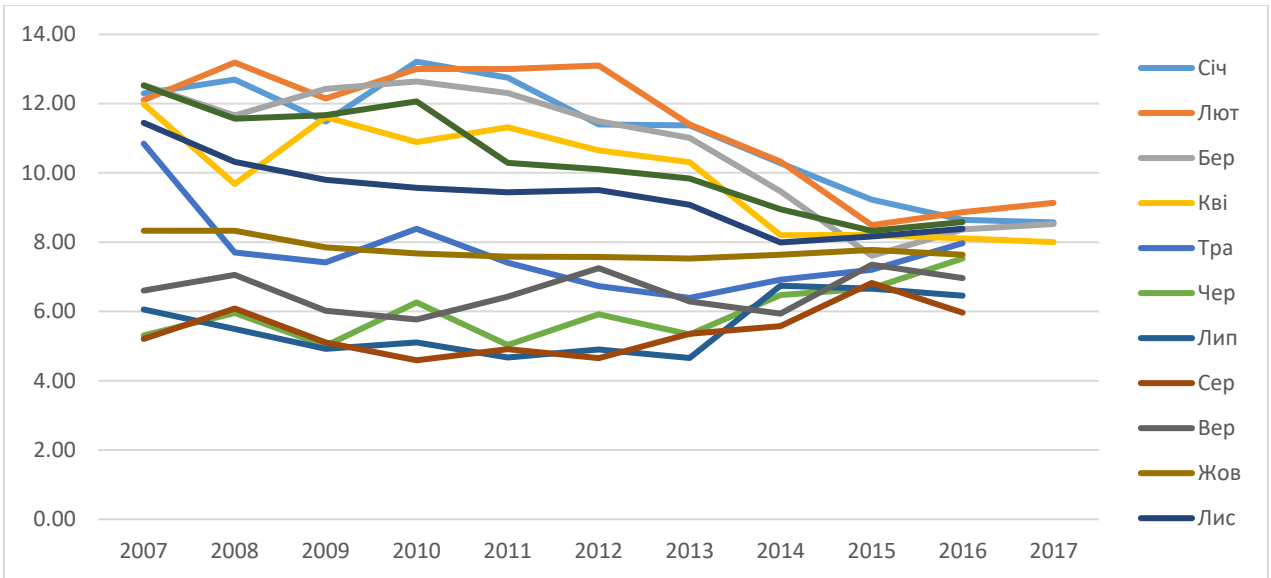
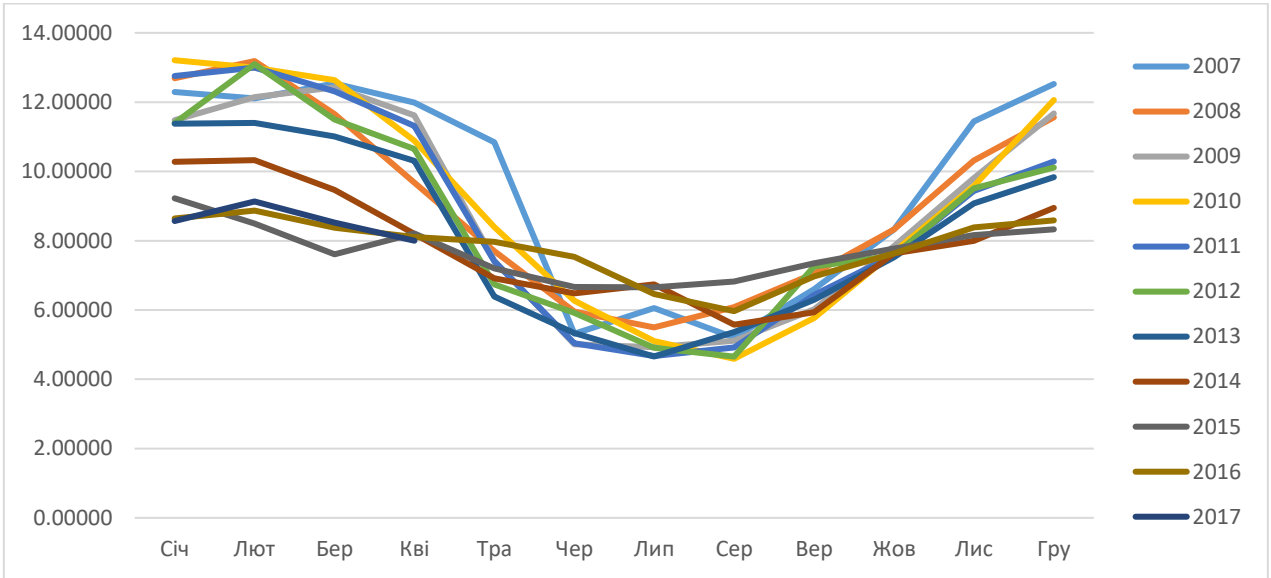
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	#ДЕЛ /0!	0,001 273	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	0,000 495	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!
2008	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	0,000 000	0,001 268	0,000 616	0,000 888	0,000 283	0,000 300	0,000 110	0,000 100	0,000 000	0,000 760
2009	000 0,000	424 0,000	202 0,000	000 0,000	141 0,000	000 0,000	141 0,001	849 0,000	283 0,000	283 0,000	849 0,000	283 0,000
2010	566 0,000	283 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	566 0,000	131 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 #ДЕЛ
2011	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,001	000 0,000	000 0,000	000 0,000	/0! 0,000
2012	000 0,000	000 0,002	212 0,002	150 0,002	577 0,001	495 0,000	000 0,000	061 0,000	566 0,000	495 0,000	000 0,000	495 0,000
2013	000 0,000	687 0,000	828 0,000	121 0,000	061 0,000	000 0,000	566 0,001	000 0,001	252 0,001	566 0,000	778 0,000	000 0,000
2014	000 0,000	000 0,000	424 0,000	000 #ДЕЛ	000 0,000	000 0,000	061 0,000	061 0,000	061 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000
2015	000 0,000	000 0,000	000 0,000	/0! 0,000	000 0,000	707 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000
2016	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000	000 0,000
2017	000	000	000									
Загалом	0,000 711	0,001 052	0,001 038	0,001 805	0,000 966	0,000 977	0,000 902	0,000 820	0,000 945	0,000 826	0,000 941	0,000 782

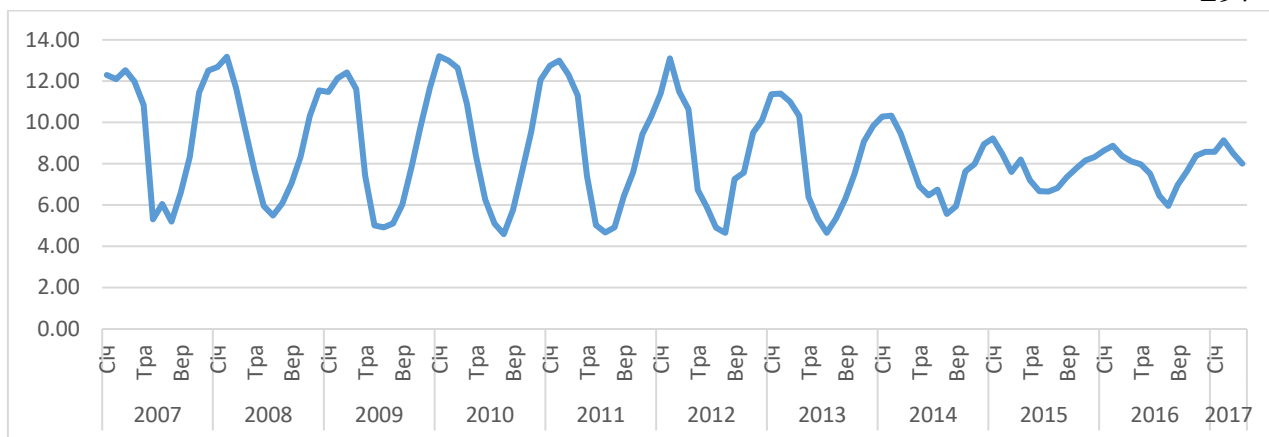


Зміщена дисперсія по полю - феноли води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	#ДЕЛ /0!	0,000 002	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	0,000 000	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!
2008	#ДЕЛ /0!	#ДЕЛ /0!	0,000 000	0,000 002	0,000 000	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 001
2009	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 000
2010	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000
2011	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	#ДЕЛ /0!
2012	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000
2013	0,000 000	0,000 007	0,000 008	0,000 004	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 000
2014	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000
2015	0,000 000	0,000 000	0,000 000	#ДЕЛ /0!	0,000 000	0,000 001	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000
2016	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000	0,000 000
2017	0,000 000	0,000 000	0,000 000									
Загалом	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 003	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 001	0,000 001



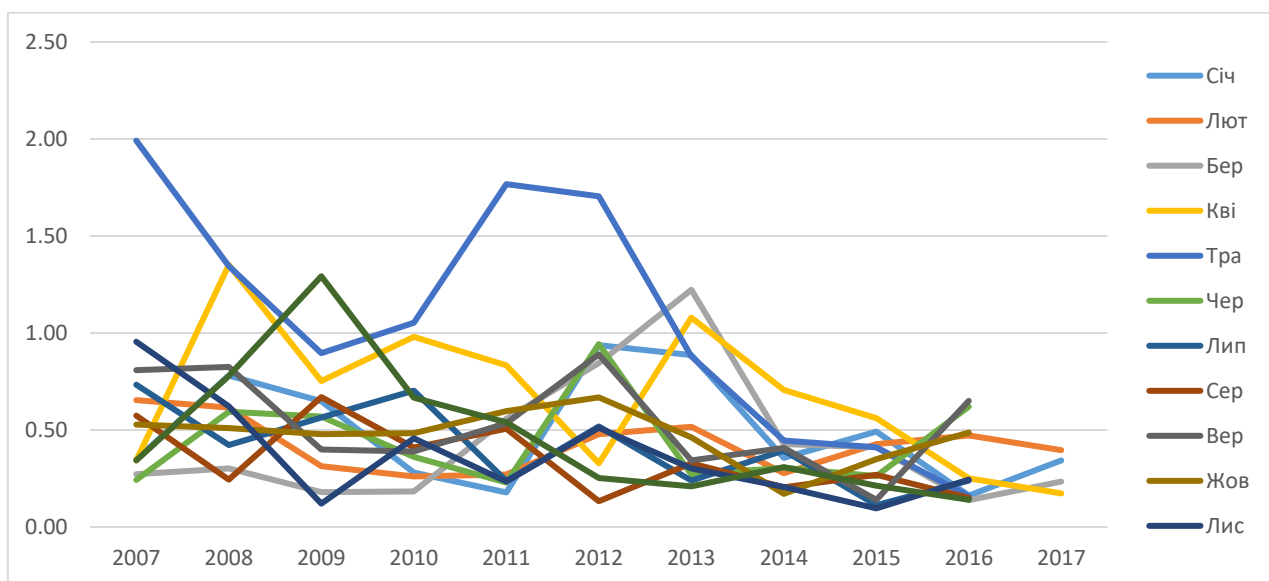




Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - розчинний кисень

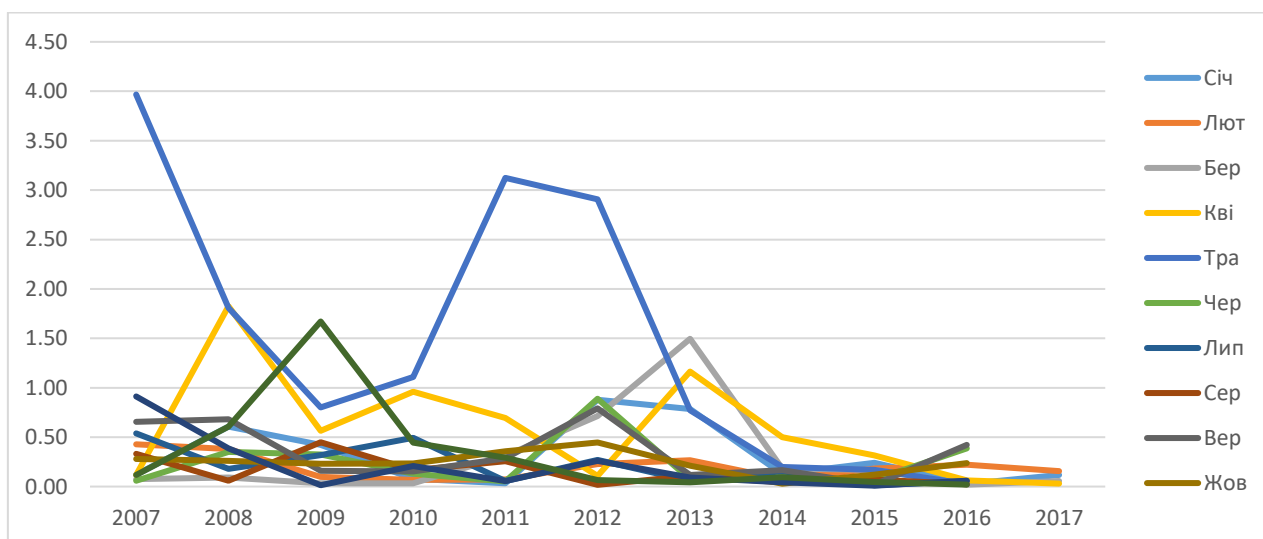
ВОДИ

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,35	0,65	0,27	0,34	1,99	0,24	0,73	0,57	0,81	0,53	0,95	0,34
2008	0,78	0,62	0,30	1,35	1,34	0,59	0,42	0,24	0,82	0,51	0,62	0,78
2009	0,65	0,31	0,18	0,75	0,90	0,57	0,56	0,67	0,40	0,48	0,12	1,29
2010	0,28	0,26	0,18	0,98	1,05	0,36	0,70	0,41	0,39	0,48	0,46	0,67
2011	0,18	0,27	0,56	0,83	1,77	0,23	0,24	0,51	0,53	0,60	0,23	0,54
2012	0,94	0,48	0,84	0,33	1,70	0,94	0,52	0,13	0,89	0,67	0,51	0,25
2013	0,89	0,52	1,22	1,08	0,88	0,27	0,24	0,33	0,34	0,46	0,30	0,21
2014	0,36	0,28	0,43	0,71	0,44	0,31	0,39	0,21	0,41	0,17	0,21	0,31
2015	0,49	0,43	0,41	0,56	0,41	0,26	0,11	0,27	0,14	0,35	0,10	0,21
2016	0,16	0,47	0,14	0,25	0,16	0,62	0,24	0,15	0,65	0,49	0,24	0,14
2017	0,34	0,40	0,24	0,17								
Загалом	1,59	1,68	1,80	1,59	1,91	0,86	0,88	0,75	0,78	0,58	1,19	1,58



Зміщена дисперсія по полю - розчинний кисень води

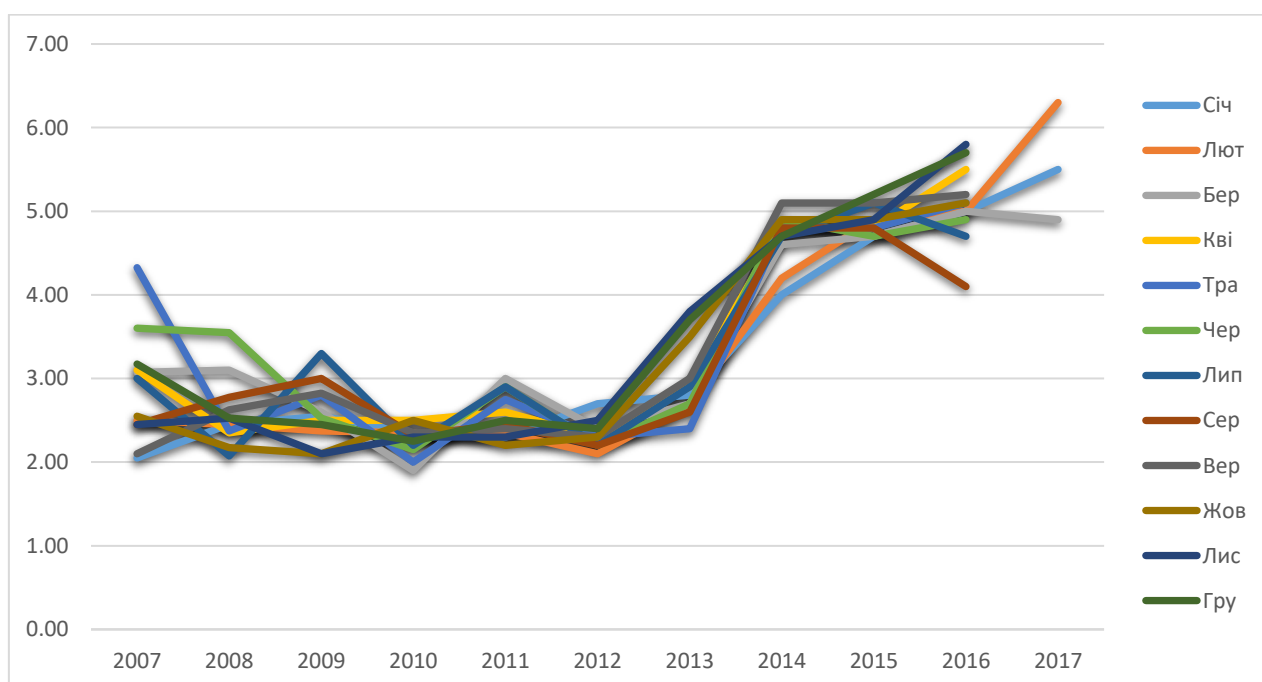
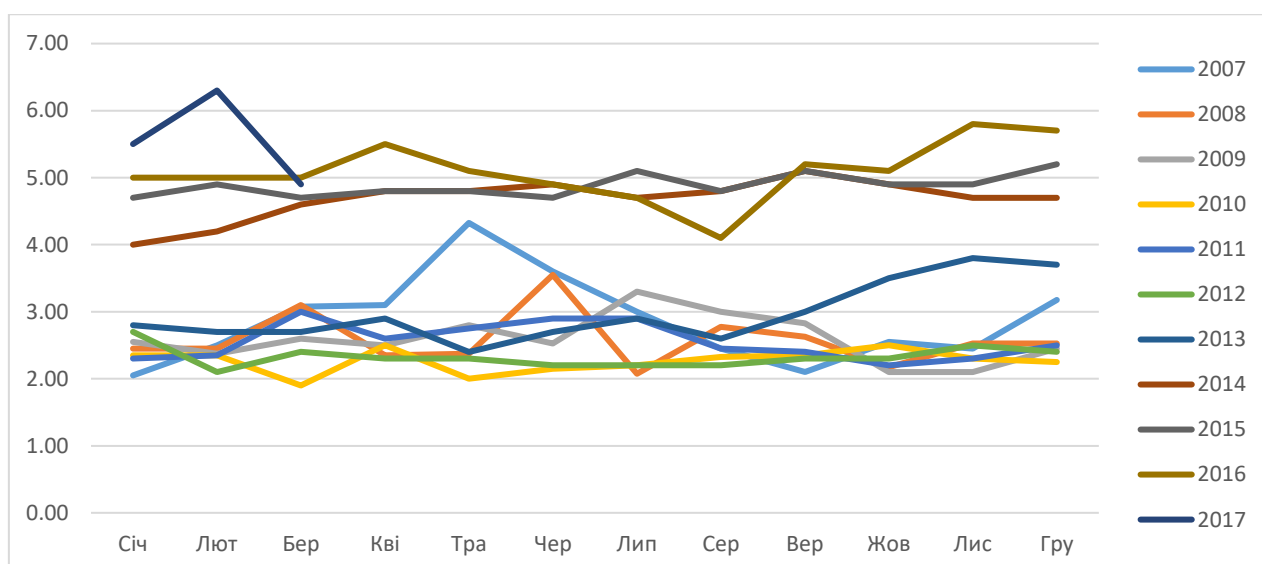
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,12	0,43	0,07	0,12	3,97	0,06	0,54	0,33	0,65	0,28	0,91	0,12
2008	0,61	0,38	0,09	1,82	1,81	0,35	0,18	0,06	0,68	0,26	0,39	0,61
2009	0,42	0,10	0,03	0,57	0,80	0,32	0,32	0,45	0,16	0,23	0,01	1,67
2010	0,08	0,07	0,03	0,96	1,11	0,13	0,49	0,17	0,15	0,23	0,21	0,44
2011	0,03	0,07	0,31	0,70	3,13	0,05	0,06	0,26	0,29	0,36	0,05	0,29
2012	0,88	0,23	0,71	0,11	2,91	0,89	0,27	0,02	0,79	0,45	0,26	0,06
2013	0,79	0,27	1,50	1,16	0,77	0,07	0,06	0,11	0,12	0,21	0,09	0,04
2014	0,13	0,08	0,18	0,50	0,20	0,09	0,15	0,04	0,17	0,03	0,04	0,10
2015	0,24	0,18	0,17	0,32	0,17	0,07	0,01	0,07	0,02	0,12	0,01	0,05
2016	0,03	0,22	0,02	0,06	0,03	0,39	0,06	0,02	0,42	0,24	0,06	0,02
2017	0,12	0,16	0,06	0,03								
Загалом	2,54	2,82	3,23	2,52	3,65	0,74	0,78	0,57	0,61	0,34	1,42	2,50

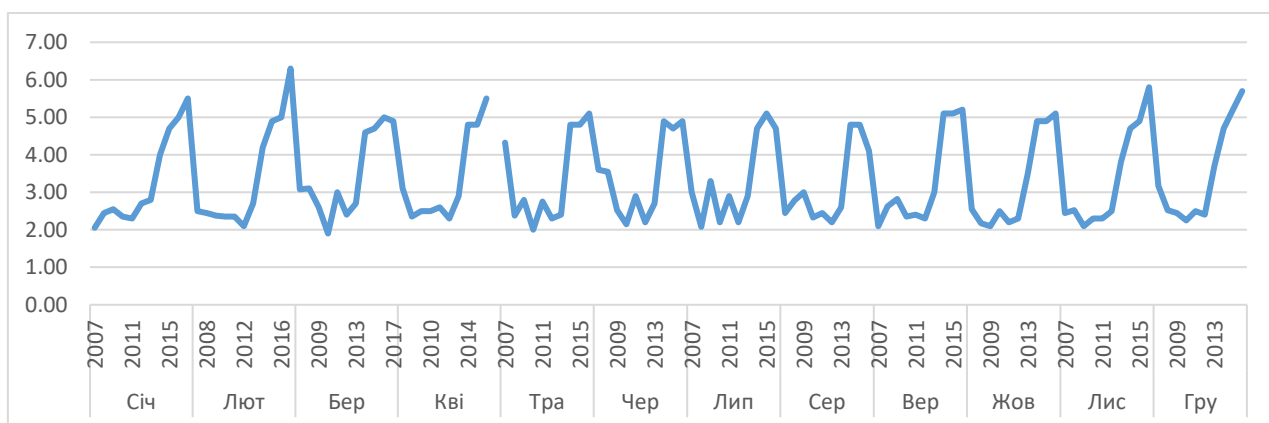
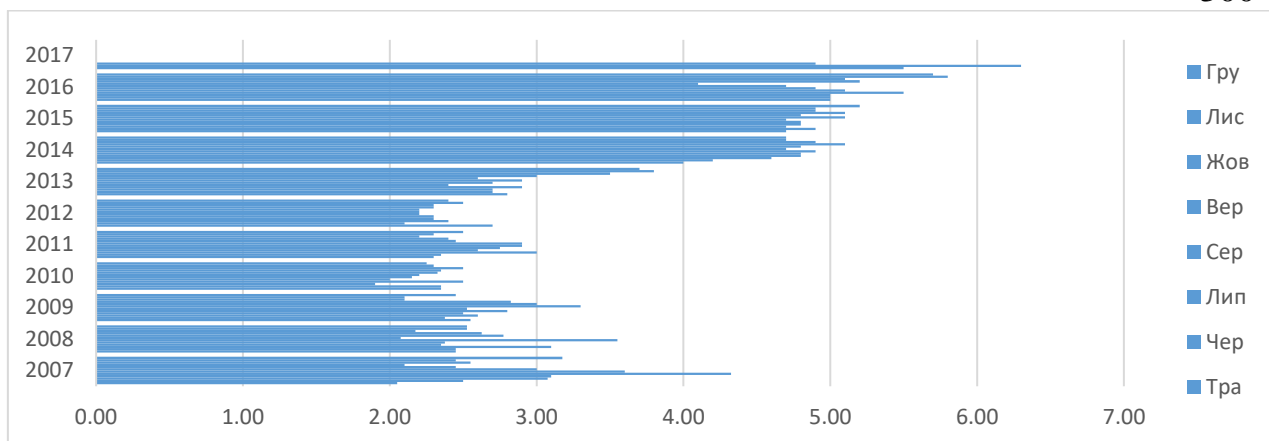
В.15 Показник якості води - біологічне споживання кисню (БСК₅)Кількість вимірів показника: BOD₅

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	16
Лют	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	16
Бер	2	2	2	3	2	3	1	1	1	1	1	19
Кві	2	2	2	3	4	4	1	1	1	1		21
Тра	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1		16
Чер	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		14
Лип	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1		13
Сер	2	2	2	4	2	1	1	1	1	1		17
Вер	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1		15
Жов	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		14
Лис	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1		13
Гру	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1		14
Загалом	24	24	22	28	21	18	12	12	12	12	3	188

Розподілення значення параметрів БСК₅ за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

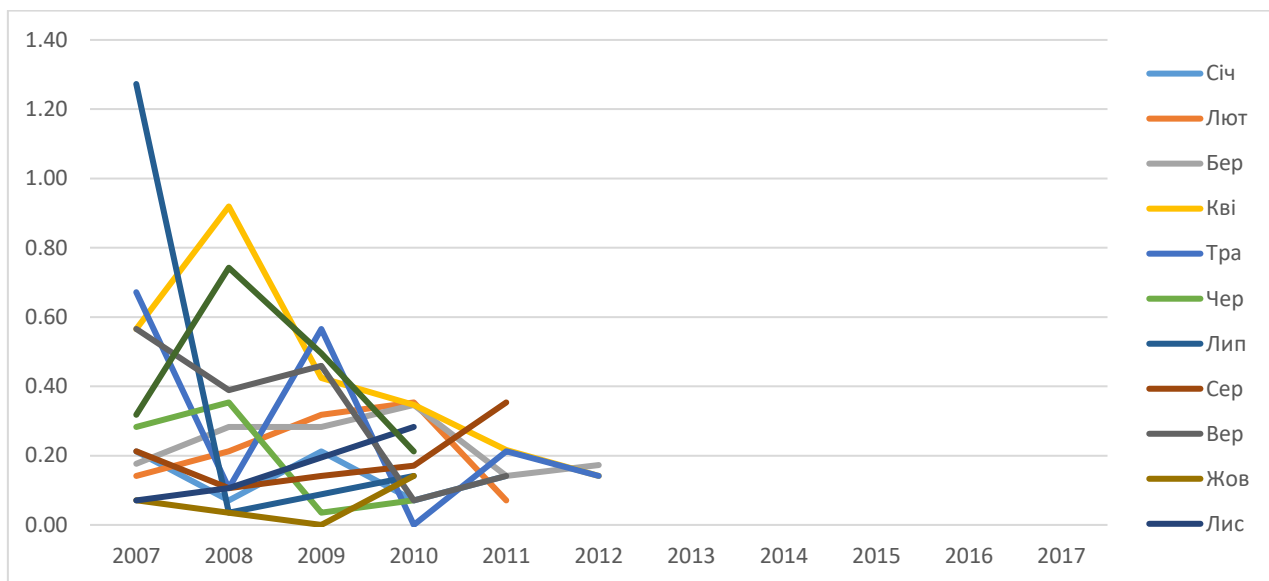
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007,00	2,05	2,50	3,08	3,10	4,33	3,60	3,00	2,45	2,10	2,55	2,45	3,18
2008,00	2,45	2,45	3,10	2,35	2,38	3,55	2,08	2,78	2,63	2,18	2,53	2,53
2009,00	2,55	2,38	2,60	2,50	2,80	2,53	3,30	3,00	2,83	2,10	2,10	2,45
2010,00	2,35	2,35	1,90	2,50	2,00	2,15	2,20	2,33	2,35	2,50	2,30	2,25
2011,00	2,30	2,35	3,00	2,60	2,75	2,90	2,90	2,45	2,40	2,20	2,30	2,50
2012,00	2,70	2,10	2,40	2,30	2,30	2,20	2,20	2,20	2,30	2,30	2,50	2,40
2013,00	2,80	2,70	2,70	2,90	2,40	2,70	2,90	2,60	3,00	3,50	3,80	3,70
2014,00	4,00	4,20	4,60	4,80	4,80	4,90	4,70	4,80	5,10	4,90	4,70	4,70
2015,00	4,70	4,90	4,70	4,80	4,80	4,70	5,10	4,80	5,10	4,90	4,90	5,20
2016,00	5,00	5,00	5,00	5,50	5,10	4,90	4,70	4,10	5,20	5,10	5,80	5,70
2017,00	5,50	6,30	4,90									
Загалом	3,01	3,08	3,07	2,90	3,14	3,28	3,10	2,89	3,02	2,97	3,13	3,21





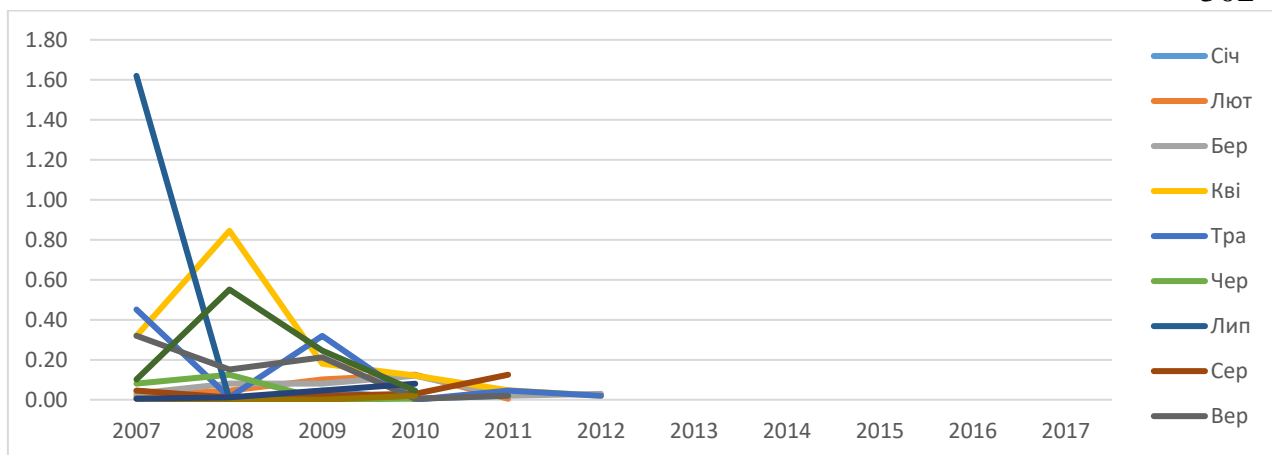
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - БСК₅ води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,21	0,14	0,18	0,57	0,67	0,28	1,27	0,21	0,57	0,07	0,07	0,32
2008	0,07	0,21	0,28	0,92	0,11	0,35	0,04	0,11	0,39	0,04	0,11	0,74
						#ДЕЛ					#ДЕЛ	
2009	0,21	0,32	0,28	0,42	0,57	0,04	/0!	0,14	0,46	0,00	/0!	0,49
2010	0,07	0,35	0,35	0,35	0,00	0,07	0,14	0,17	0,07	0,14	0,28	0,21
						#ДЕЛ	#ДЕЛ			#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ
2011	0,14	0,07	0,14	0,22	0,21	/0!	/0!	0,35	0,14	/0!	/0!	/0!
	#ДЕЛ	#ДЕЛ				#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ
2012	/0!	/0!	0,17	0,14	0,14	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ
2013	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ
2014	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ
2015	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ
2016	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
	#ДЕЛ	#ДЕЛ	#ДЕЛ									
2017	/0!	/0!	/0!									
Загалом	1,13	1,28	1,02	0,98	1,13	1,01	1,13	0,86	1,15	1,14	1,24	1,20



Зміщена дисперсія по полю - БСК₅ води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,05	0,02	0,03	0,32	0,45	0,08	1,62	0,04	0,32	0,01	0,00	0,10
2008	0,00	0,04	0,08	0,84	0,01	0,13	0,00	0,01	0,15	0,00	0,01	0,55
2009	0,05	0,10	0,08	0,18	0,32	0,00	/0!	0,02	0,21	0,00	/0!	0,24
2010	0,01	0,13	0,12	0,12	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,02	0,08	0,04
2011	0,02	0,01	0,02	0,05	0,05	/0!	/0!	0,13	0,02	/0!	/0!	/0!
2012	/0!	/0!	0,03	0,02	0,02	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
2013	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
2014	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
2015	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
2016	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!	/0!
2017	/0!	/0!	/0!									
Загал	1,27	1,64	1,03	0,95	1,28	1,01	1,29	0,73	1,31	1,30	1,54	1,44



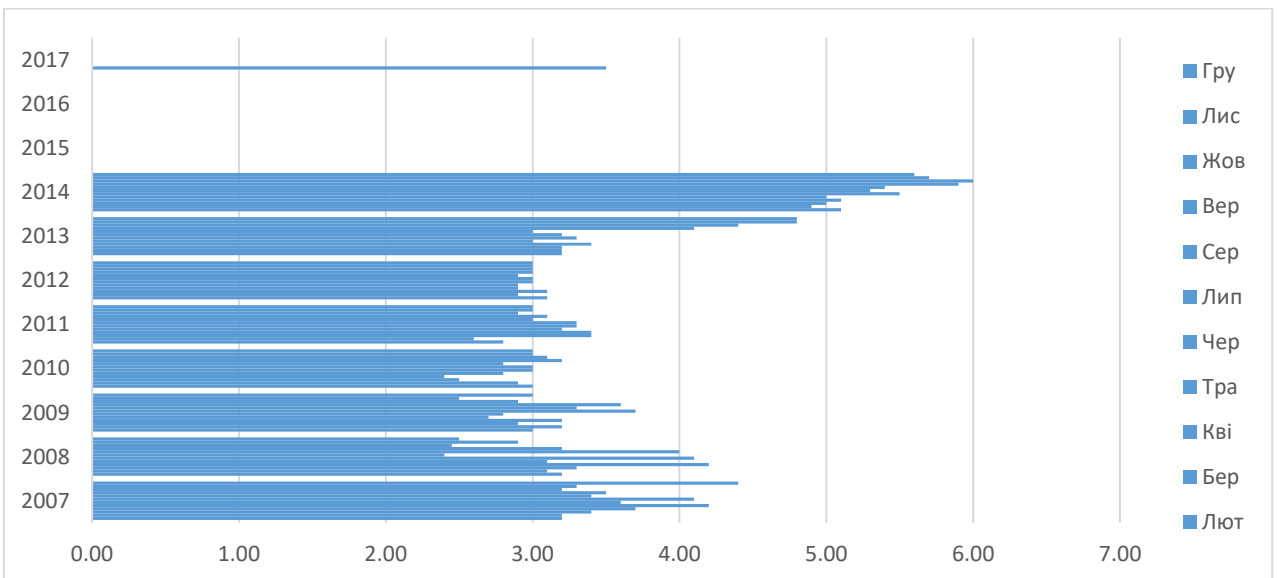
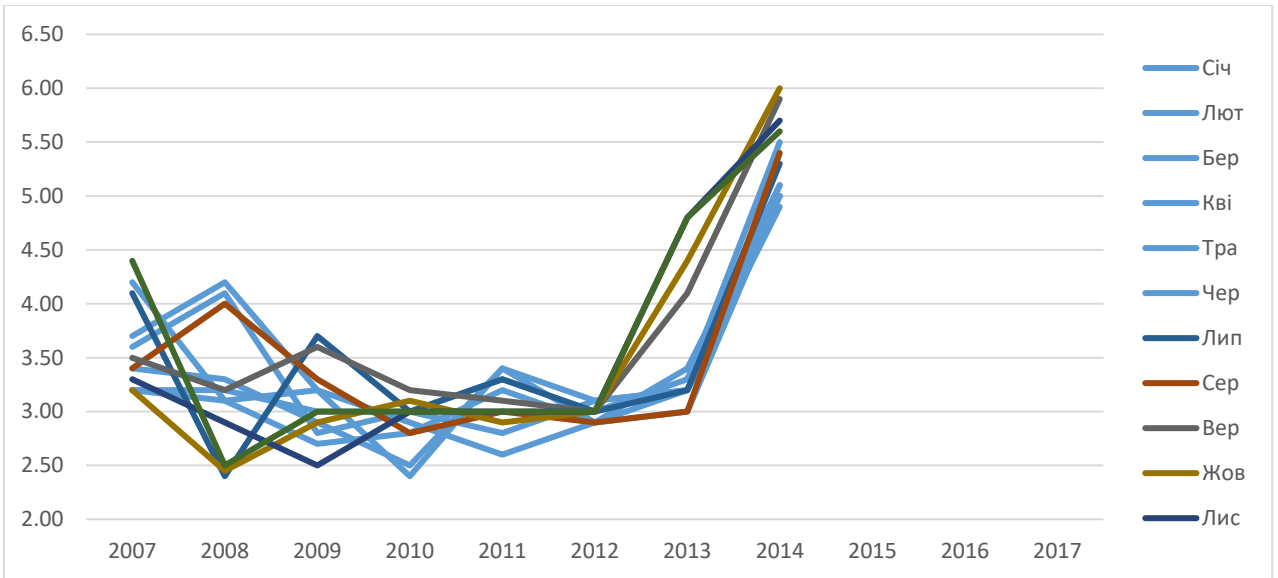
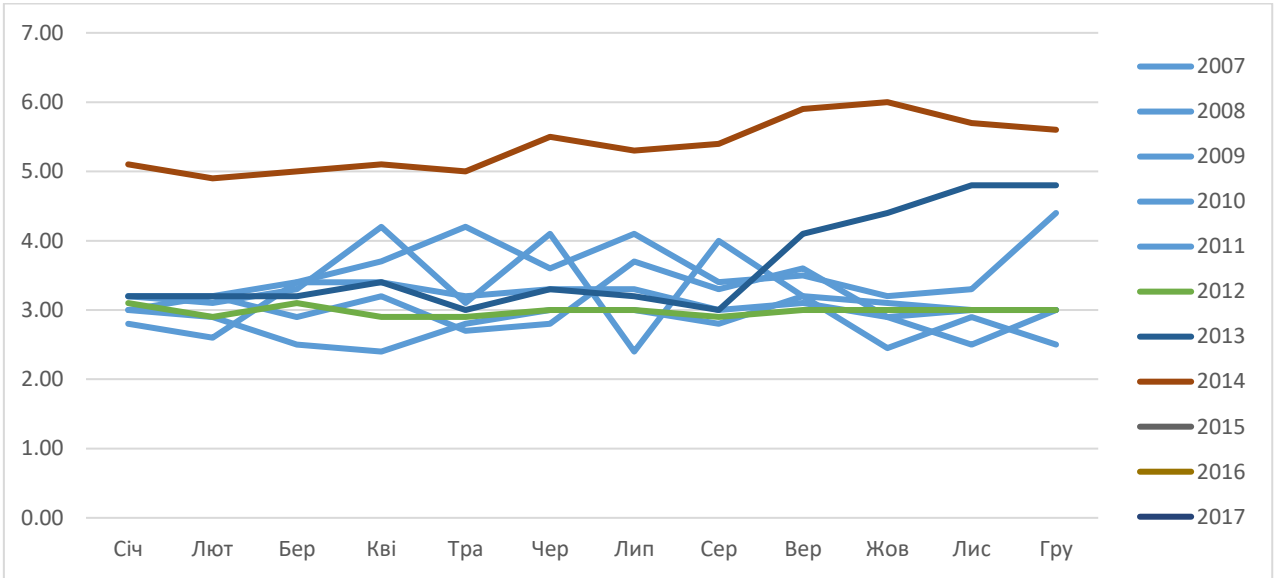
В.16 Показник якості води - біологічне споживання кисню (БСК_{повн})

Кількість вимірів показника: ВОД_{повн}

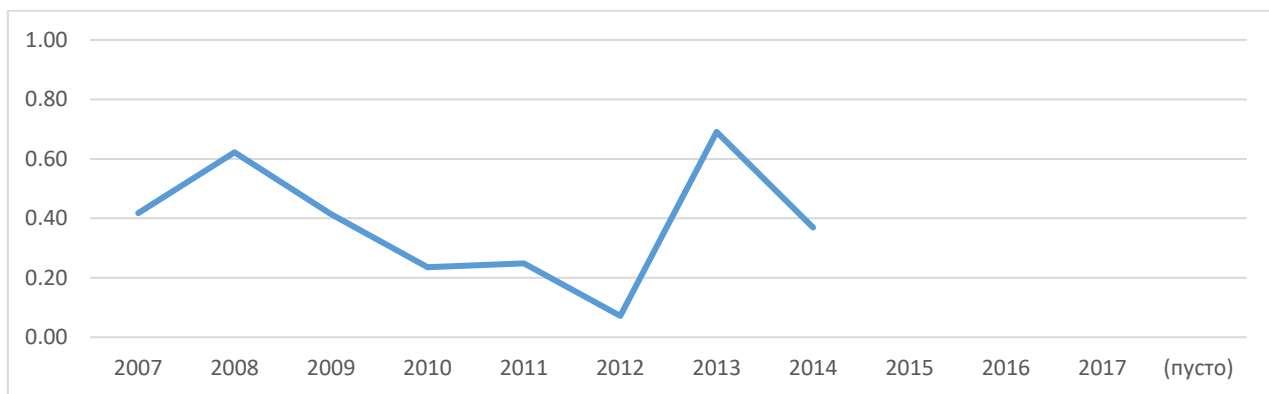
Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Лют	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Бер	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Кві	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9
Тра	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Чер	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Лип	1	1	2	1	1	1	1	1				9
Сер	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Вер	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Жов	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Лис	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Гру	1	1	1	1	1	1	1	1				8
Загалом	12	12	13	12	12	12	12	12			1	98

Розподілення значення параметрів БСК_{повн} за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	
2007		3,20	3,20	3,40	3,70	4,20	3,60	4,10	3,40	3,50	3,20	3,30	4,40
2008		3,20	3,10	3,30	4,20	3,10	4,10	2,40	4,00	3,20	2,45	2,90	2,50
2009		3,00	3,20	2,90	3,20	2,70	2,80	3,70	3,30	3,60	2,90	2,50	3,00
2010		3,00	2,90	2,50	2,40	2,80	3,00	3,00	2,80	3,20	3,10	3,00	3,00
2011		2,80	2,60	3,40	3,40	3,20	3,30	3,30	3,00	3,10	2,90	3,00	3,00
2012		3,10	2,90	3,10	2,90	2,90	3,00	3,00	2,90	3,00	3,00	3,00	3,00
2013		3,20	3,20	3,20	3,40	3,00	3,30	3,20	3,00	4,10	4,40	4,80	4,80
2014		5,10	4,90	5,00	5,10	5,00	5,50	5,30	5,40	5,90	6,00	5,70	5,60
2015													
2016													
2017						3,50							
Загалом		3,33	3,25	3,35	3,53	3,36	3,58	3,52	3,48	3,70	3,49	3,53	3,66

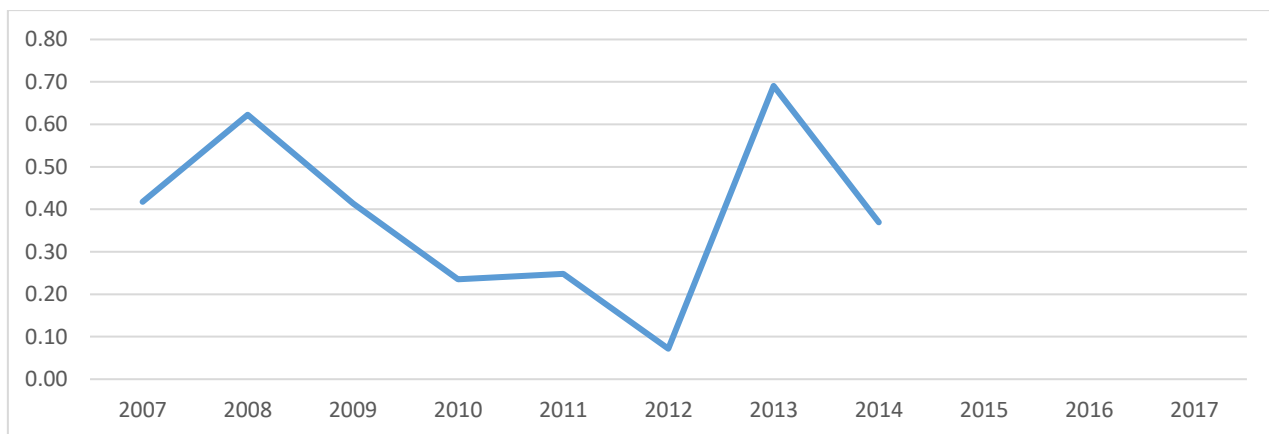


Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - БСК_{повн} води



(не рахувалися на місяць - за малої кількості вимірів)

Зміщена дисперсія по полю - БСК_{повн} води



(не рахувалися на місяць - за малої кількості вимірів)

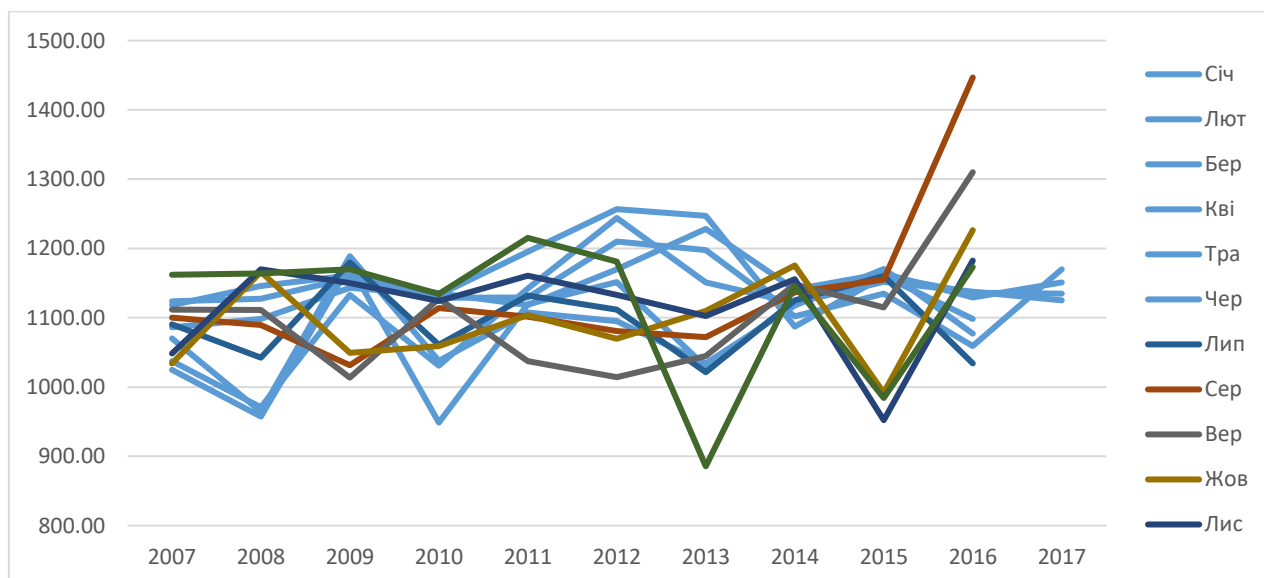
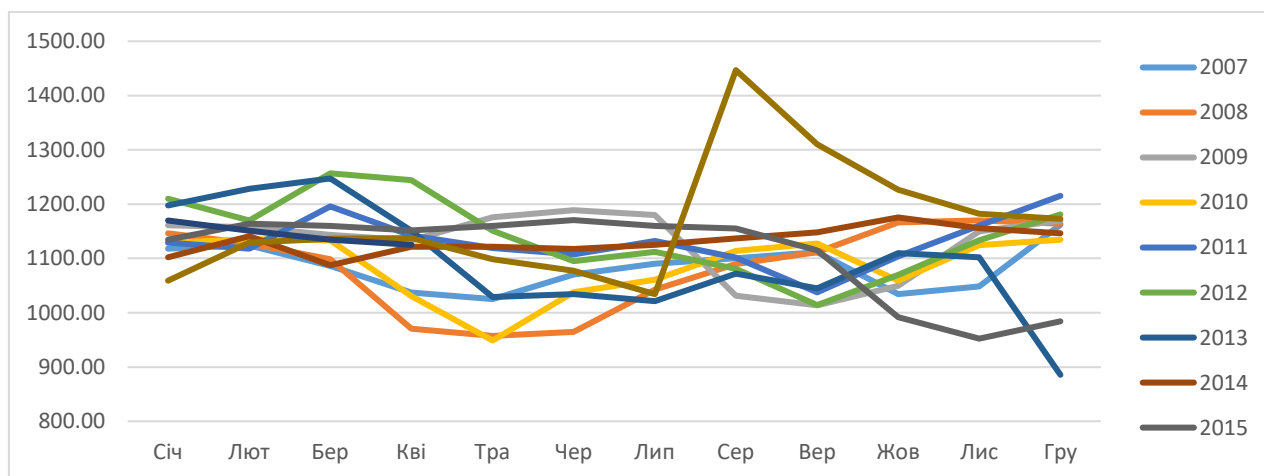
В.17 Показник якості води - сухого залишку

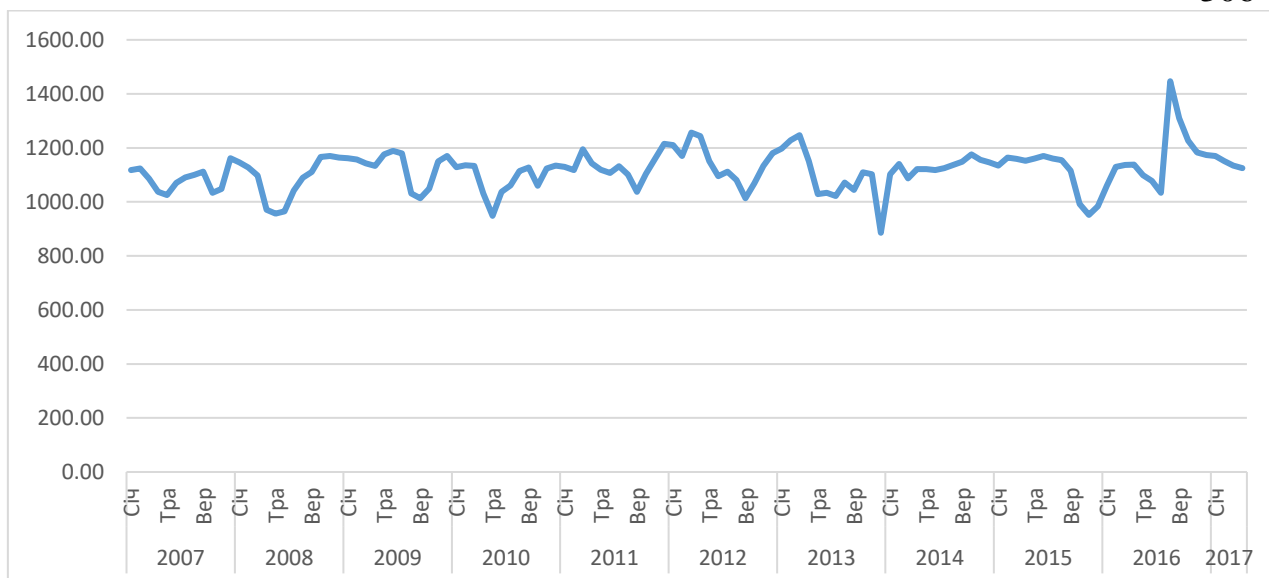
Кількість вимірів показника: Dry residue

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загалом
Січ	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	50
Лют	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	45
Бер	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	48
Кві	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	1	44
Тра	5	4	4	4	5	4	4	4	4	6		44
Чер	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4		43
Лип	4	5	4	4	4	5	5	4	4	5		44
Сер	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5		44
Вер	4	5	5	4	4	4	5	5	4	5		45
Жов	5	4	4	4	5	5	4	4	3	5		43
Лис	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4		42
Гру	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4		44
Загалом	51	53	52	51	52	51	53	52	51	56	14	536

Розподілення значення параметрів сухого залишку за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

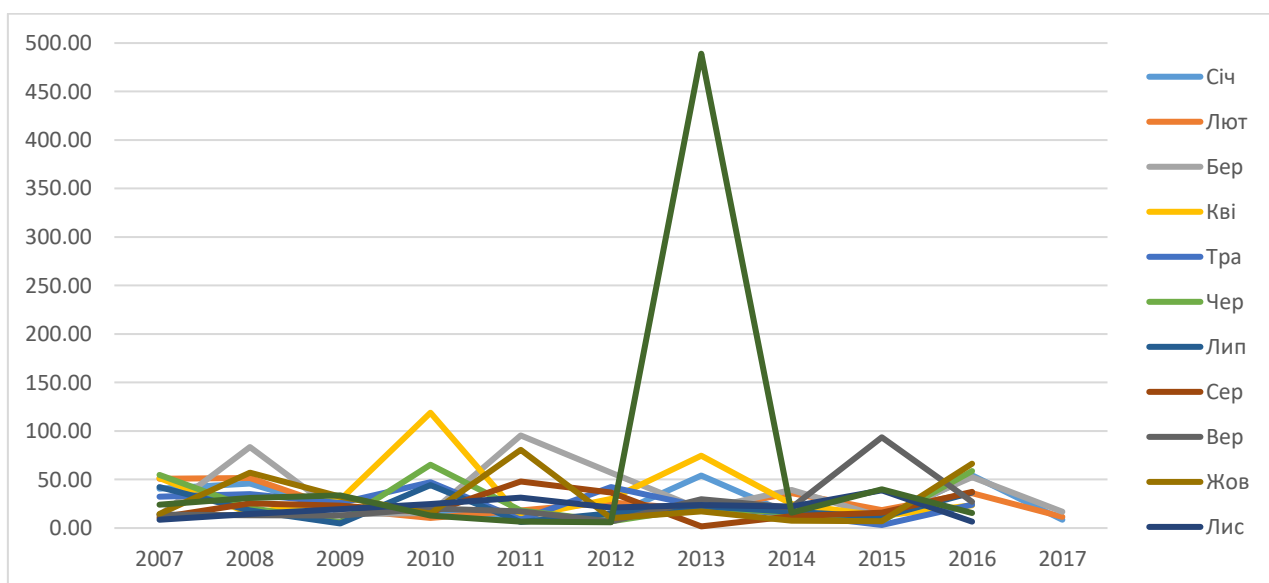
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007,00	1118,2	1123,7	1086,2	1037,2	1025,0	1070,0	1090,5	1100,0	1111,7	1034,0	1048,5	1162,0
	0	5	5	5	0	0	0	0	5	0	0	0
2008,00	1146,0	1127,2	1098,2	970,80	957,25	964,50	1042,2	1089,5	1111,2	1166,2	1170,0	1163,8
	0	5	5	5	5	5	0	0	0	5	0	0
2009,00	1161,2	1157,5	1143,2	1133,0	1175,7	1188,8	1179,7	1031,5	1013,6	1049,5	1150,0	1169,8
	5	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0
2010,00	1128,7	1135,5	1133,0	1030,7	948,75	1037,7	1061,0	1114,0	1127,2	1059,2	1124,2	1134,5
	5	0	0	5	948,75	5	0	0	5	5	0	0
2011,00	1129,4	1118,2	1195,5	1142,2	1119,4	1107,5	1132,2	1101,4	1037,5	1104,0	1160,5	1215,2
	0	5	0	5	0	0	5	0	0	0	0	5
2012,00	1210,0	1170,0	1256,7	1244,0	1151,2	1095,2	1111,8	1080,7	1014,0	1069,8	1133,0	1181,2
	0	0	5	0	5	5	0	5	0	0	0	5
2013,00	1197,8	1228,2	1247,2	1150,8	1029,0	1034,2	1021,4	1071,7	1044,6	1109,7	1102,2	
	0	5	5	0	0	5	0	5	0	5	5	885,61
2014,00	1102,0	1140,7	1087,4	1121,2	1121,2	1117,6	1125,0	1136,7	1148,2	1175,5	1155,7	1146,0
	0	5	0	5	5	0	0	5	0	0	5	0
2015,00	1134,7	1163,7	1159,6	1151,7	1160,0	1170,6	1160,0	1155,2	1115,0			
	5	5	0	5	0	0	0	0	0	991,67	952,20	984,25
2016,00	1059,2	1129,2	1136,2	1137,6	1098,3	1077,2	1034,2	1446,8	1310,0	1226,4	1182,5	1173,0
	5	0	5	0	3	5	0	0	0	0	0	0
2017,00	1169,8	1151,0	1134,7	1125,0								
	0	0	5	0								
Загалом	1144,0	1149,1	1150,7	1110,5	1079,2	1091,4	1091,8	1139,2	1105,7	1102,0	1114,1	1118,8
м	0	1	5	0	0	2	6	7	8	2	0	0





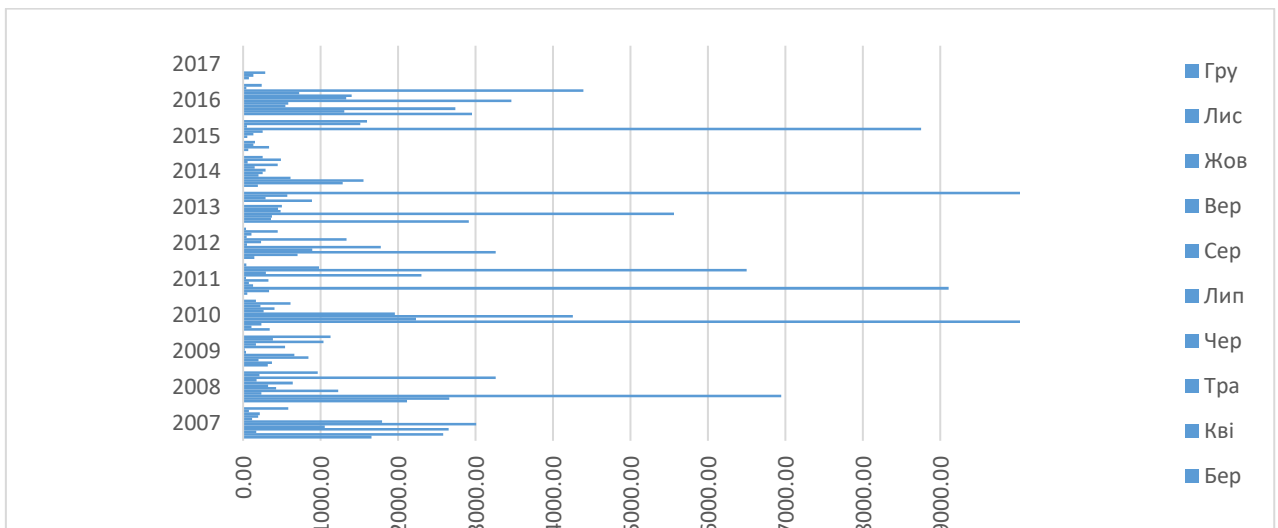
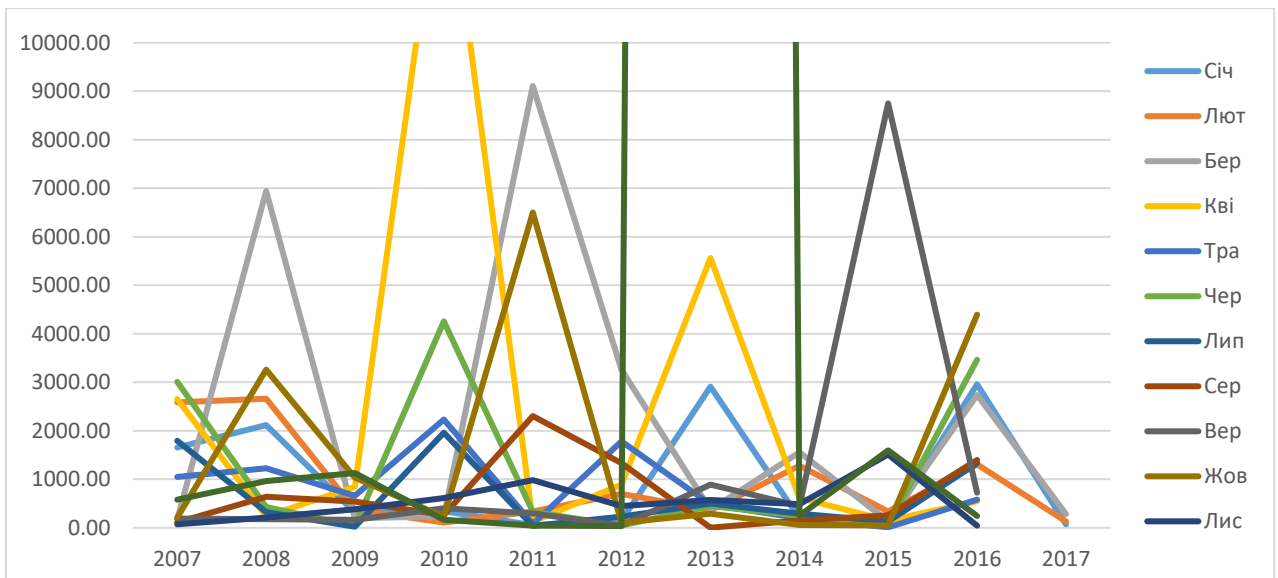
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - сухого залишку води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	40,70	50,84	13,10	51,50	32,44	54,84	42,35	10,74	13,89	14,61	8,58	24,15
2008	45,99	51,59	83,34	15,32	35,04	20,68	18,01	25,33	13,26	57,10	14,54	31,01
2009	17,84	19,33	14,06	29,07	25,73	6,06	4,72	23,23	12,82	32,21	19,61	33,57
2010	18,54	10,41	15,38	118,88	47,25	65,25	44,28	16,26	20,14	14,89	24,72	12,87
2011	7,40	18,28	95,44	11,32	8,71	18,12	6,24	48,00	17,14	80,63	31,33	6,60
2012	12,08	26,50	57,09	29,89	42,18	6,99	15,27	36,54	6,73	10,31	21,18	5,97
2013	53,97	19,00	19,24	74,59	22,02	21,25	22,37	1,71	29,80	17,04	23,89	489,01
2014	13,78	35,83	39,42	24,76	14,08	15,90	16,99	12,28	21,11	7,59	22,10	15,86
2015	8,22	18,36	11,59	12,42	3,16	7,33	11,58	15,94	93,55	7,02	38,88	39,99
2016	54,38	36,12	52,34	23,35	24,12	58,84	36,47	37,45	26,92	66,28	6,61	15,56
2017	8,58	11,43	16,88	#ДЕЛ/0!								



Зміщена дисперсія по полю - сухого залишку води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	1656,7	2584,9			1052,5	3007,3	1793,6					
7	0	2	171,58	2652,25	0	3	7	115,33	192,92	213,50	73,67	583,33
2008	2115,5	2661,5	6946,2		1227,5					3260,9		
8	0	8	5	234,70	8	427,67	324,20	641,67	175,70	2	211,33	961,70
2009										1037,6		
9	318,25	373,67	197,70	845,33	662,25	36,70	22,25	539,67	164,30	7	384,67	1127,20
2010												
0	343,58	108,33	236,50	14132,2	2232,9	4257,5	1960,6					
2011				5	2	8	7	264,50	405,58	221,58	611,20	165,67
1	54,80	334,25	9109,6	7	128,25	75,80	328,33	38,92	0	293,67	0	981,67
2012												
2	146,00	702,00	3259,5	8	893,33	2	48,92	233,20	2	45,33	106,20	448,67
2013												
3	2913,2	0	360,92	370,25	5564,20	484,67	451,58	500,30	2,92	887,80	290,25	570,92
2014												
4	190,00	8	1283,5	1554,3	0	612,92	198,25	252,80	288,67	150,92	445,70	57,67
2015												
5	67,58	336,92	134,30	154,25	10,00	53,80	134,00	254,20	8751,3	3	49,33	0
2016												
6	2956,9	1304,7	2739,5	545,30	581,87	3462,2	1330,2	1402,2	724,50	0	4393,3	242,00
2017												
7	73,70	130,67	284,92	#ДЕЛ/0!								



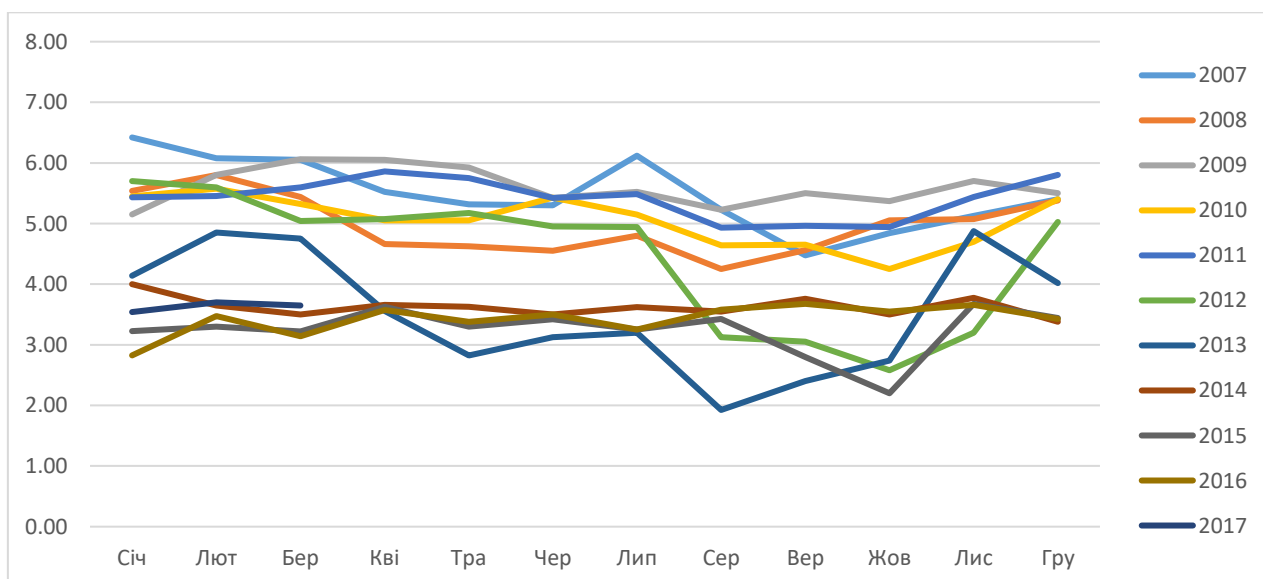
В.18 Показник якості води - жорсткість (сума іонів магнію та кальцію)

Кількість вимірів показника: Rigidity

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загалом
2007	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	52
2008	5	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	53
2009	4	4	5	4	4	5	4	4	5	3	4	5	51
2010	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	4	51
2011	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	51
2012	5	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	51
2013	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	53
2014	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5	52
2015	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	52
2016	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	52
2017	5	4	4										13
Загалом	49	44	48	43	43	42	45	43	44	42	43	45	531

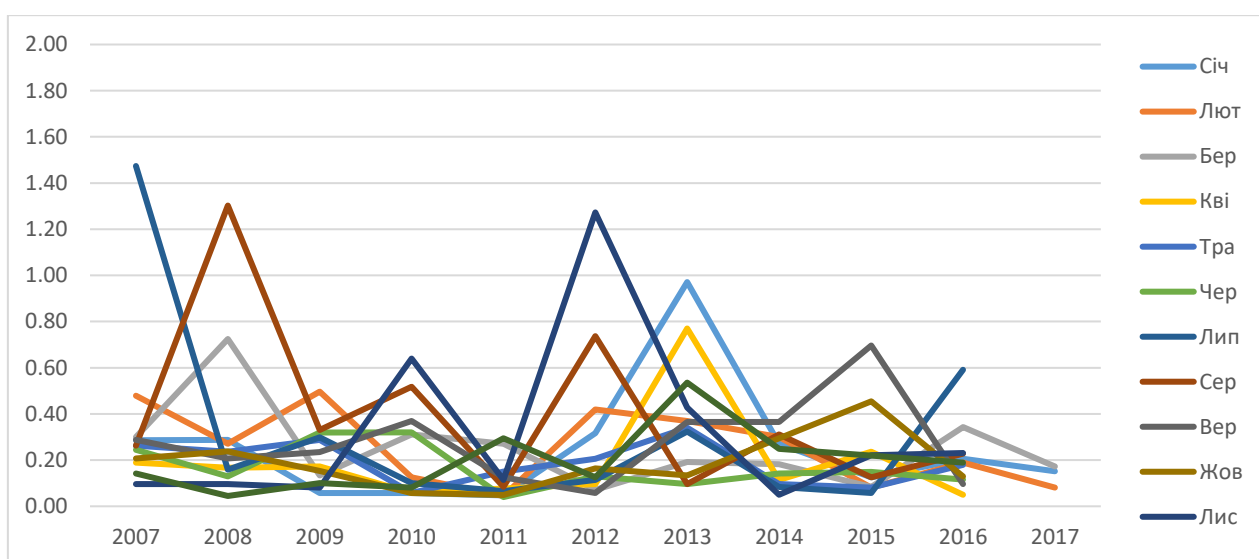
Розподілення значення параметрів жорсткість за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	6,42	6,08	6,05	5,53	5,32	5,30	6,12	5,23	4,48	4,84	5,13	5,40
2008	5,54	5,80	5,44	4,66	4,63	4,55	4,80	4,25	4,56	5,05	5,08	5,38
2009	5,15	5,80	6,06	6,05	5,93	5,42	5,53	5,23	5,50	5,37	5,70	5,50
2010	5,45	5,58	5,32	5,05	5,05	5,43	5,15	4,64	4,65	4,25	4,70	5,40
2011	5,44	5,46	5,60	5,86	5,75	5,42	5,49	4,93	4,97	4,94	5,44	5,80
2012	5,70	5,60	5,04	5,08	5,18	4,95	4,94	3,13	3,05	2,58	3,20	5,03
2013	4,14	4,85	4,75	3,56	2,83	3,13	3,20	1,93	2,40	2,74	4,88	4,02
2014	4,00	3,65	3,50	3,66	3,63	3,50	3,62	3,55	3,76	3,50	3,78	3,38
2015	3,23	3,30	3,22	3,63	3,30	3,42	3,25	3,43	2,80	2,20	3,68	3,44
2016	2,83	3,48	3,14	3,58	3,38	3,50	3,25	3,58	3,68	3,55	3,66	3,43
2017	3,54	3,70	3,65									
Загалом	4,72	4,84	4,68	4,61	4,52	4,46	4,53	4,02	4,00	3,83	4,53	4,64

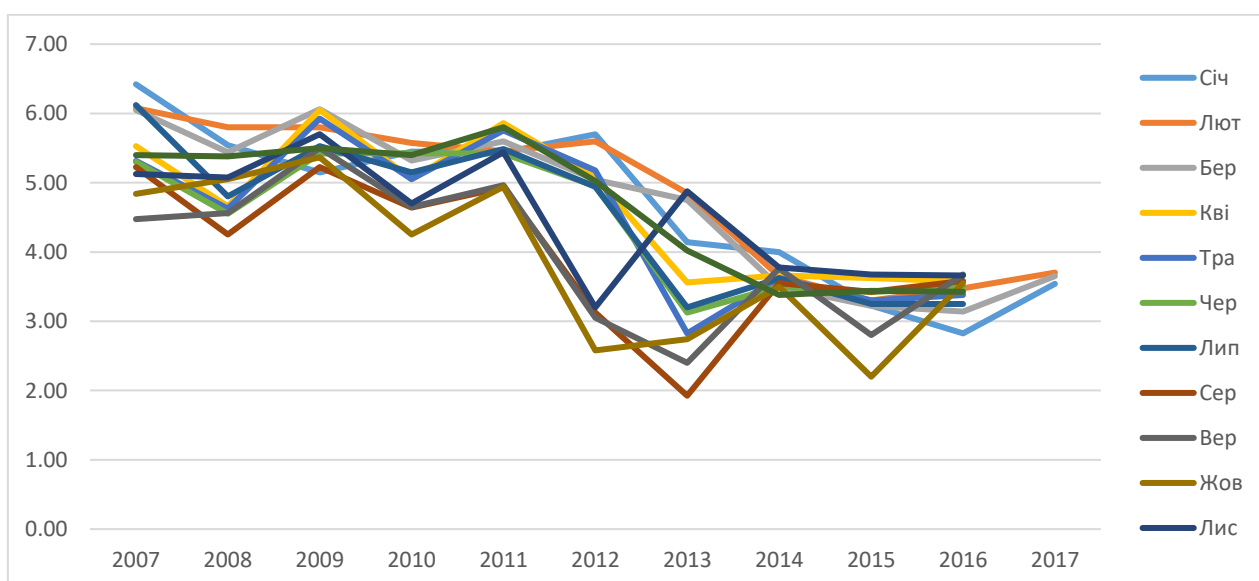


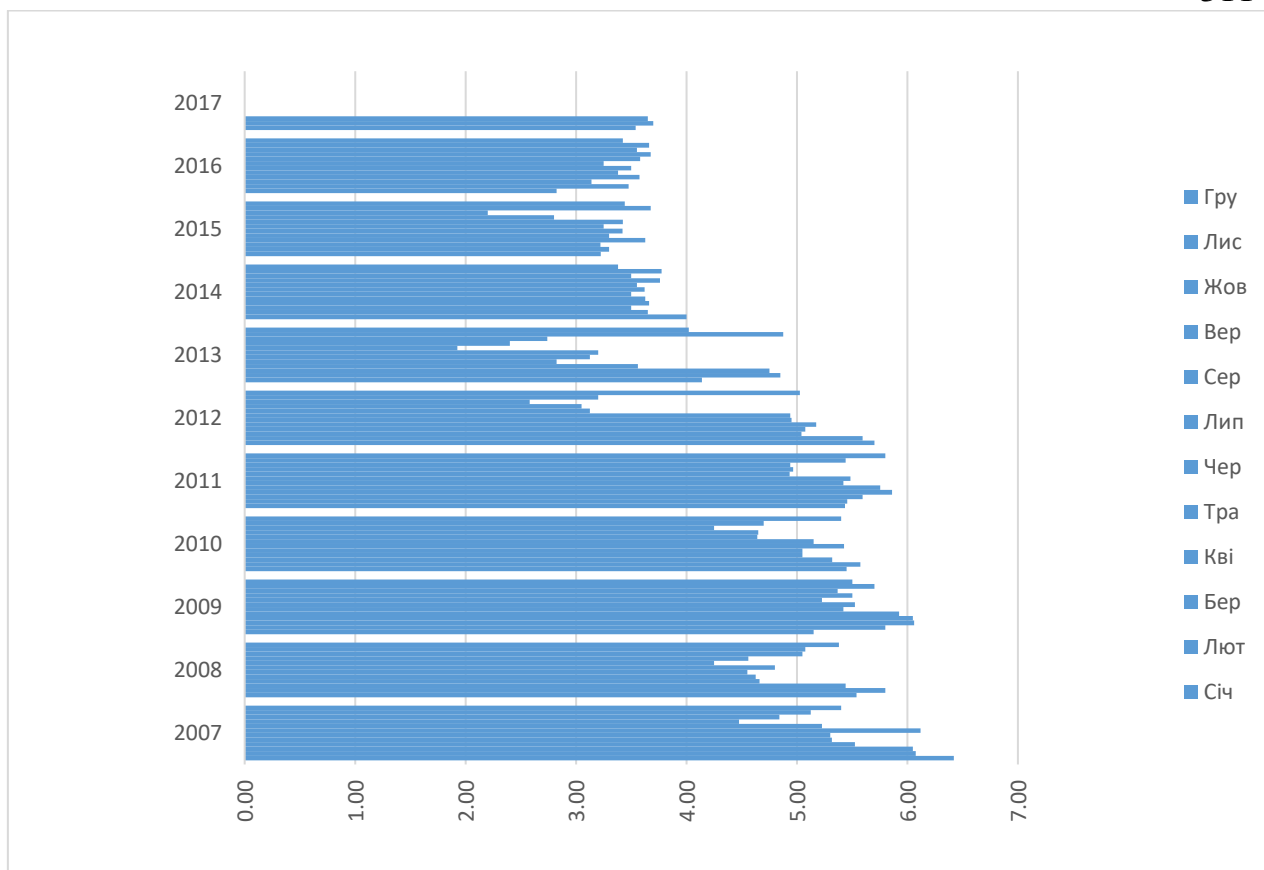
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - жорсткість води

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0,29	0,48	0,30	0,19	0,26	0,24	1,47	0,26	0,29	0,21	0,10	0,14
2008	0,29	0,27	0,72	0,17	0,24	0,13	0,16	1,30	0,21	0,24	0,10	0,04
2009	0,06	0,50	0,13	0,17	0,29	0,32	0,30	0,33	0,23	0,15	0,08	0,10
2010	0,06	0,13	0,31	0,06	0,06	0,32	0,10	0,52	0,37	0,06	0,64	0,08
2011	0,05	0,04	0,27	0,08	0,15	0,04	0,07	0,08	0,12	0,05	0,11	0,29
2012	0,32	0,42	0,07	0,10	0,21	0,13	0,11	0,74	0,06	0,16	1,27	0,13
2013	0,97	0,37	0,19	0,77	0,34	0,10	0,32	0,10	0,37	0,13	0,43	0,54
2014	0,27	0,30	0,18	0,11	0,10	0,14	0,08	0,31	0,36	0,29	0,05	0,25
2015	0,13	0,08	0,08	0,24	0,08	0,15	0,06	0,13	0,70	0,45	0,22	0,22
2016	0,21	0,19	0,34	0,05	0,18	0,12	0,59	0,23	0,10	0,13	0,23	0,19
2017	0,15	0,08	0,17									



Зміщена дисперсія по полю - жорсткість води





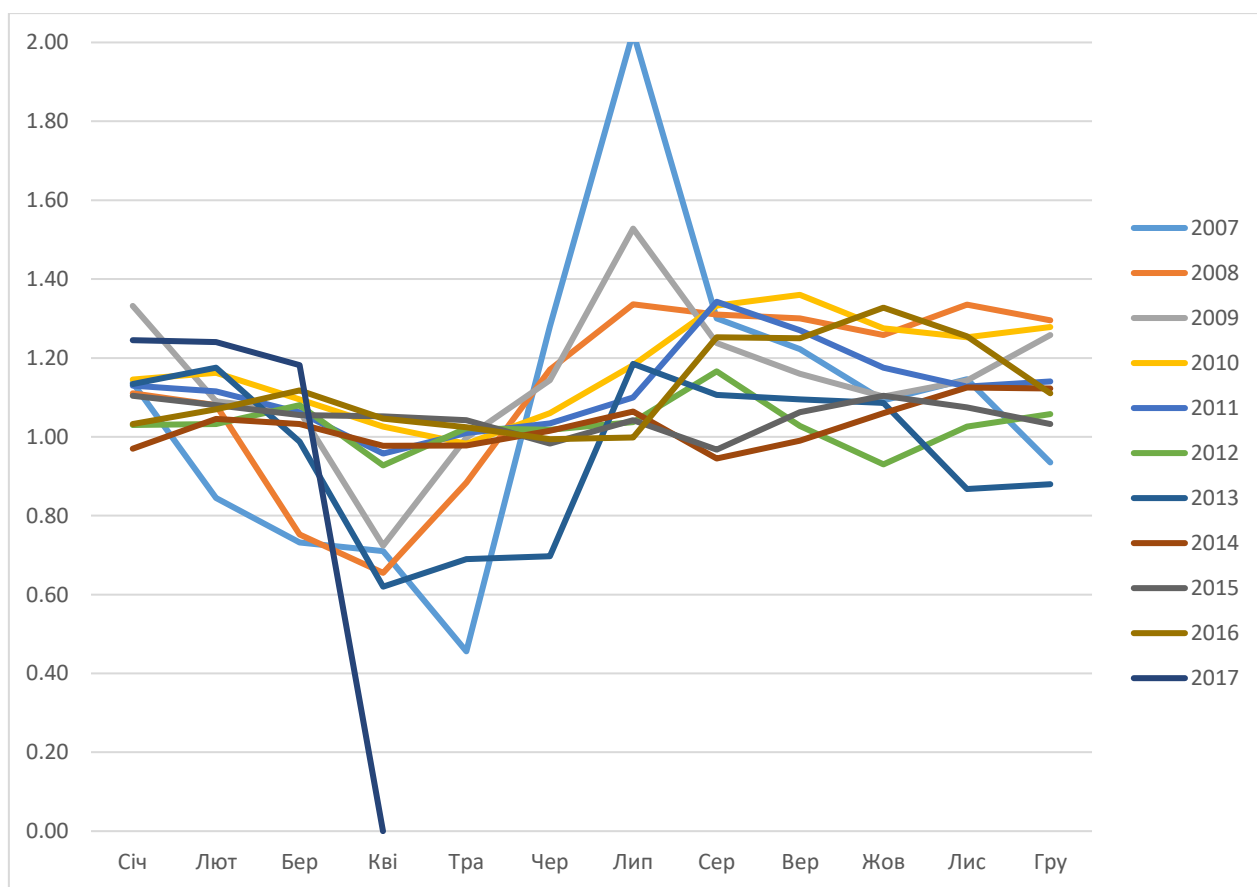
В.19 Показник якості води - фосфати

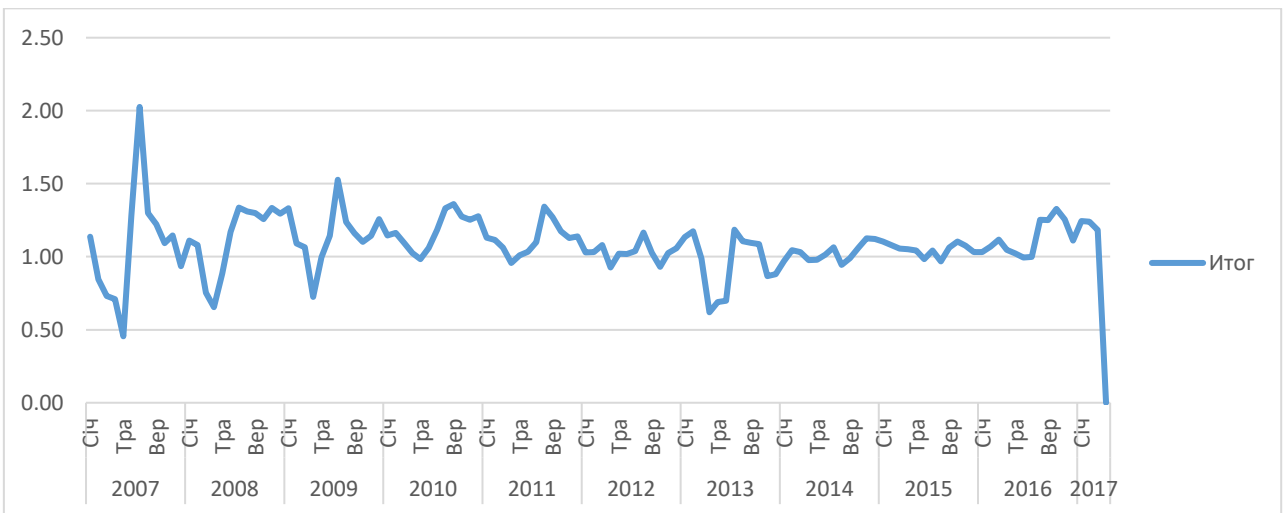
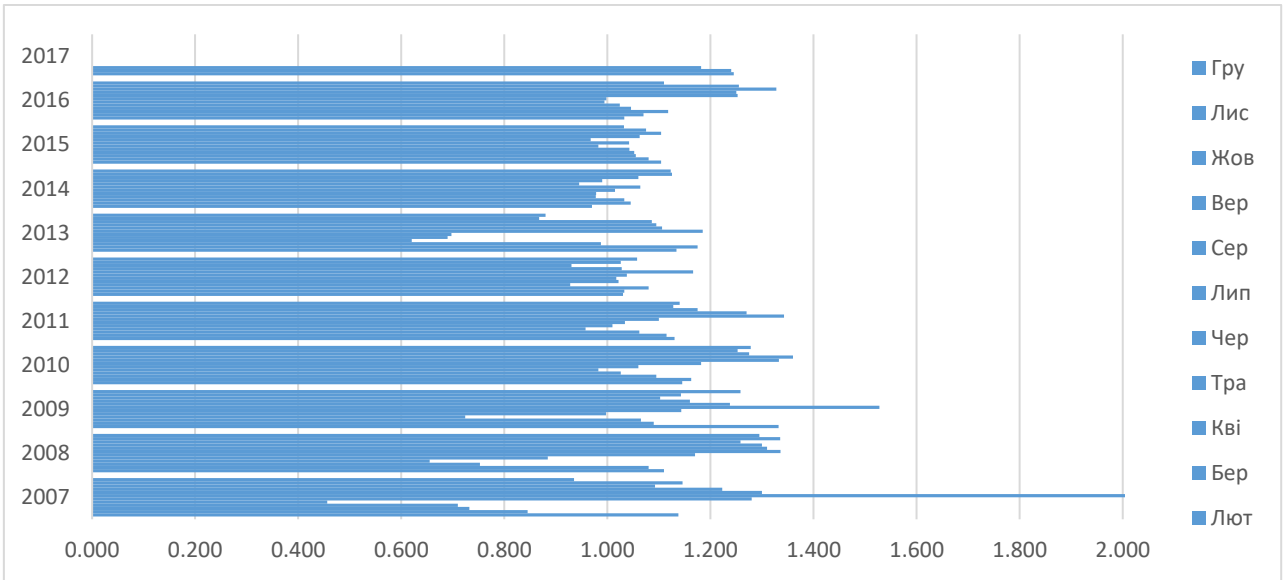
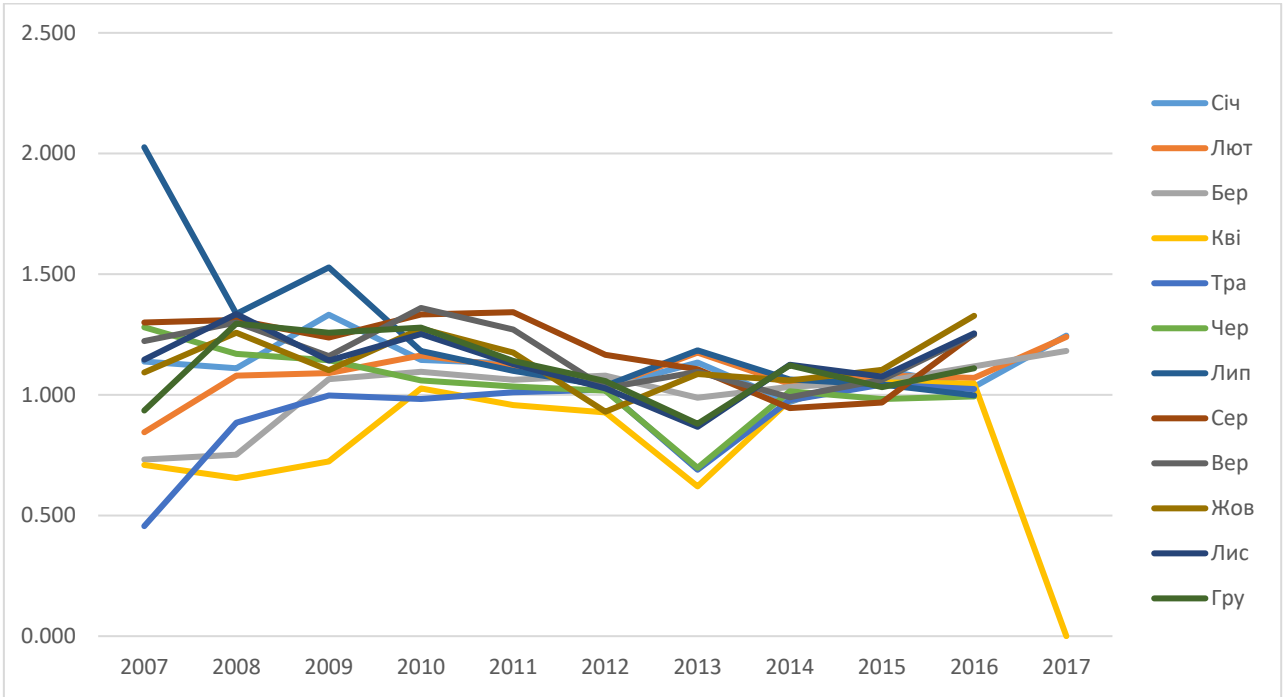
Кількість вимірів показника: Phosphate ion

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Загал підс
Січ	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	49
Лют	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	44
Бер	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	49
Кві	4	4	5	5	4	4	5	4	5	5	1	46
Тра	5	5	4	4	4	6	4	5	4	5		46
Чер	4	4	3	4	5	4	4	4	4	5		41
Лип	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5		47
Сер	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4		43
Вер	4	4	4	5	5	4	4	4	4	6		44
Жов	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4		45
Лис	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4		42
Гру	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5		45
Загалом	53	52	52	52	52	53	52	52	53	56	14	541

Розподілення значення параметрів фосфати за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

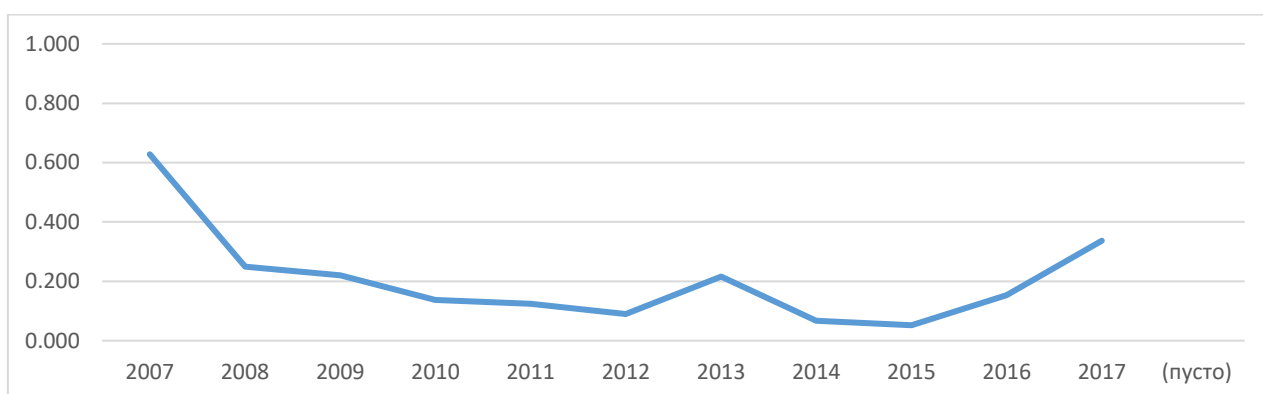
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	1,138	0,845	0,732	0,710	0,456	1,280	2,026	1,300	1,223	1,093	1,146	0,935
2008	1,110	1,080	0,753	0,655	0,884	1,170	1,336	1,310	1,300	1,258	1,335	1,295
2009	1,332	1,090	1,065	0,724	0,998	1,143	1,528	1,238	1,160	1,102	1,143	1,258
2010	1,145	1,163	1,095	1,026	0,983	1,060	1,182	1,333	1,360	1,275	1,253	1,278
2011	1,130	1,115	1,062	0,958	1,010	1,034	1,100	1,343	1,270	1,175	1,128	1,140
2012	1,030	1,033	1,080	0,928	1,022	1,018	1,038	1,166	1,028	0,930	1,026	1,058
2013	1,134	1,175	0,988	0,620	0,690	0,698	1,185	1,106	1,095	1,086	0,868	0,880
2014	0,970	1,045	1,033	0,978	0,978	1,015	1,064	0,945	0,990	1,060	1,125	1,123
2015	1,104	1,080	1,055	1,052	1,043	0,983	1,042	0,968	1,063	1,104	1,075	1,032
2016	1,033	1,070	1,118	1,046	1,024	0,994	0,998	1,253	1,250	1,328	1,255	1,110
2017	1,245	1,240	1,182	0,000								
Загалом	1,125	1,085	1,017	0,853	0,907	1,036	1,259	1,196	1,184	1,139	1,133	1,117





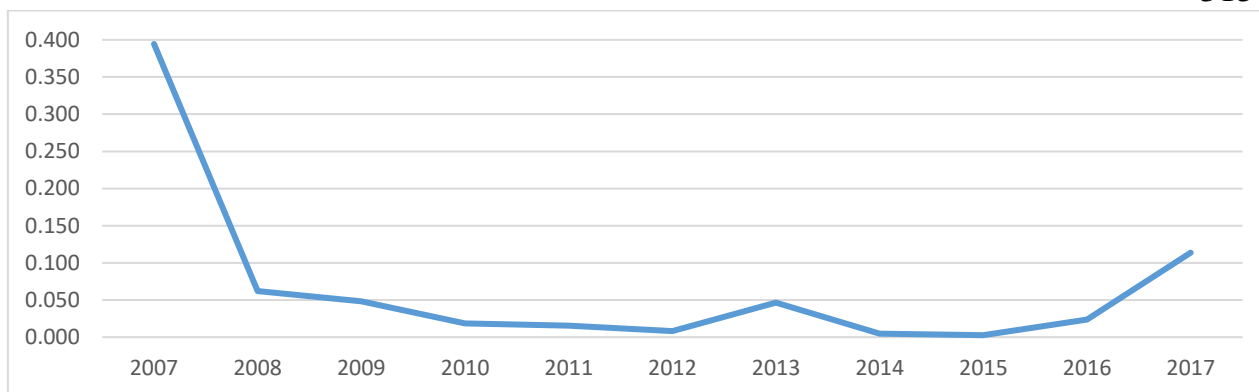
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - фосфати води

Рік	Смещенное отклонение по полю Phosphate ion
2007	0,628
2008	0,249
2009	0,220
2010	0,137
2011	0,124
2012	0,090
2013	0,216
2014	0,067
2015	0,052
2016	0,154
2017	0,337
(пусто)	
Загалом	0,258



Зміщена дисперсія по полю - фосфати води

Названия строк	Смещенная дисперсия по полю Phosphate ion
2007	0,394
2008	0,062
2009	0,048
2010	0,019
2011	0,015
2012	0,008
2013	0,046
2014	0,005
2015	0,003
2016	0,024
2017	0,114
ЗАГАЛ підс	0,067



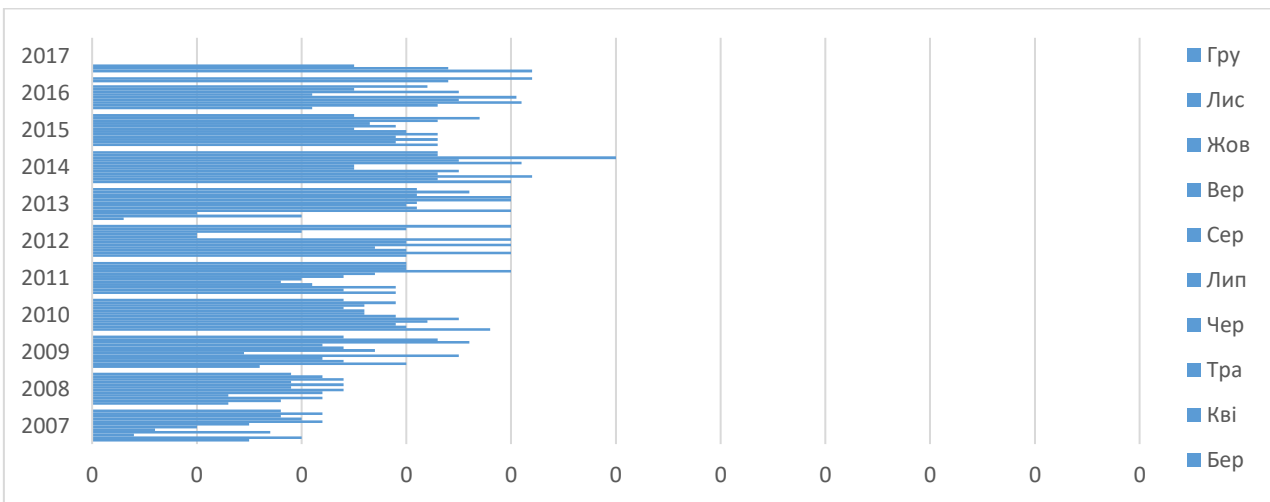
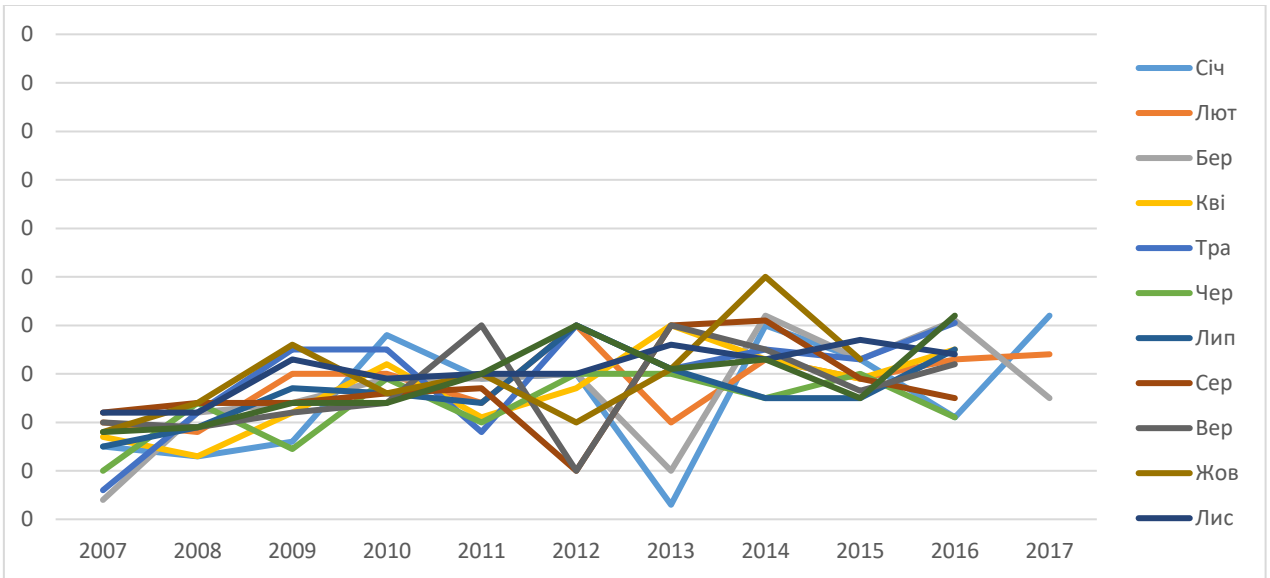
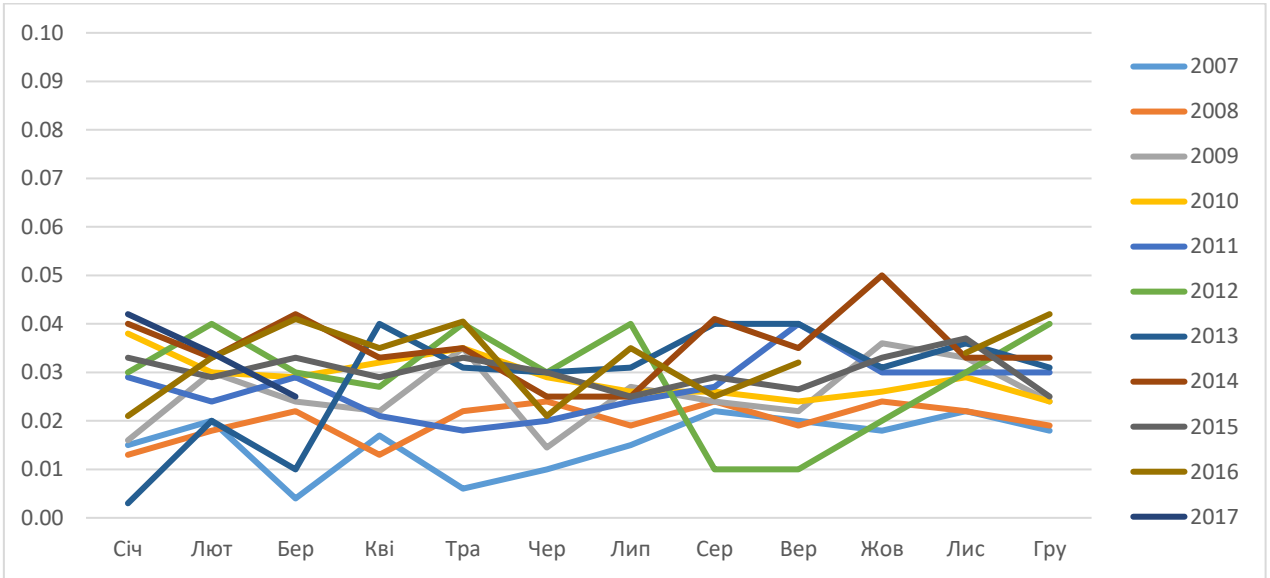
В.20 Показник якості води -аніоноактивні поверхнево-активні речовини (аПАР)

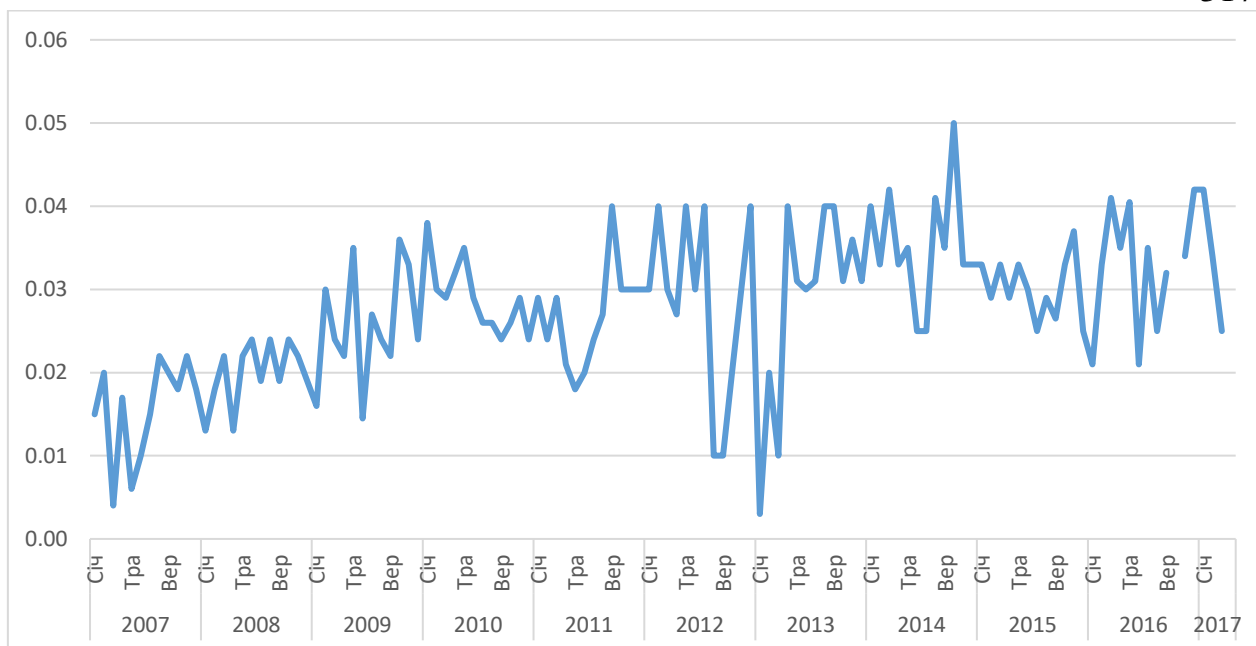
Кількість вимірів показника: SAS_Surface-active substances

Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Загал підс
2007	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2008	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2009	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	13
2010	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2011	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2012	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2013	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	13
2014	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
2015	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	13
2016	1	2	1	2	2	2	2	1	2		1	1	17
2017	1	1	1										3
Загалом	11	12	11	11	11	12	11	11	12	9	10	10	131

Розподілення значення параметрів аПАР за період 2010-2017 років від року в рік, від місяця в місяць:

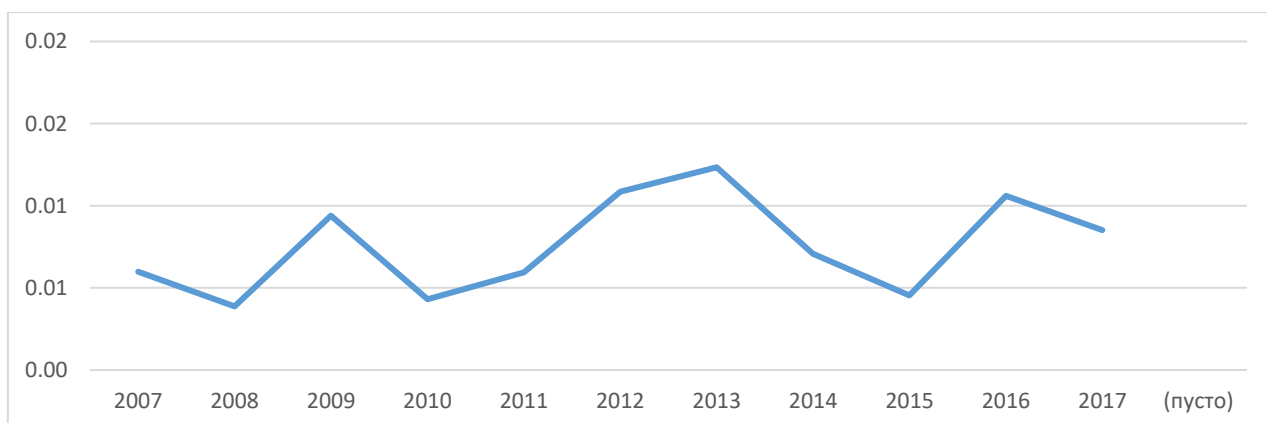
Рік	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
2007	0	0,020	0,004	0,017	0,006	0,010	0,015	0,022	0,020	0,018	0,022	0,018
2008	0	0,018	0,022	0,013	0,022	0,024	0,019	0,024	0,019	0,024	0,022	0,019
2009	0	0,030	0,024	0,022	0,035	0,015	0,027	0,024	0,022	0,036	0,033	0,024
2010	0	0,030	0,029	0,032	0,035	0,029	0,026	0,026	0,024	0,026	0,029	0,024
2011	0	0,024	0,029	0,021	0,018	0,020	0,024	0,027	0,040	0,030	0,030	0,030
2012	0	0,040	0,030	0,027	0,040	0,030	0,040	0,010	0,010	0,020	0,030	0,040
2013	0	0,020	0,010	0,040	0,031	0,030	0,031	0,040	0,040	0,031	0,036	0,031
2014	0	0,033	0,042	0,033	0,035	0,025	0,025	0,041	0,035	0,050	0,033	0,033
2015	0	0,029	0,033	0,029	0,033	0,030	0,025	0,029	0,027	0,033	0,037	0,025
2016	0	0,033	0,041	0,035	0,041	0,021	0,035	0,025	0,032		0,034	0,042
2017	0	0,034	0,025									
Загалом	0	0,029	0,026	0,028	0,031	0,022	0,027	0,028	0,027	0,030	0,031	0,029





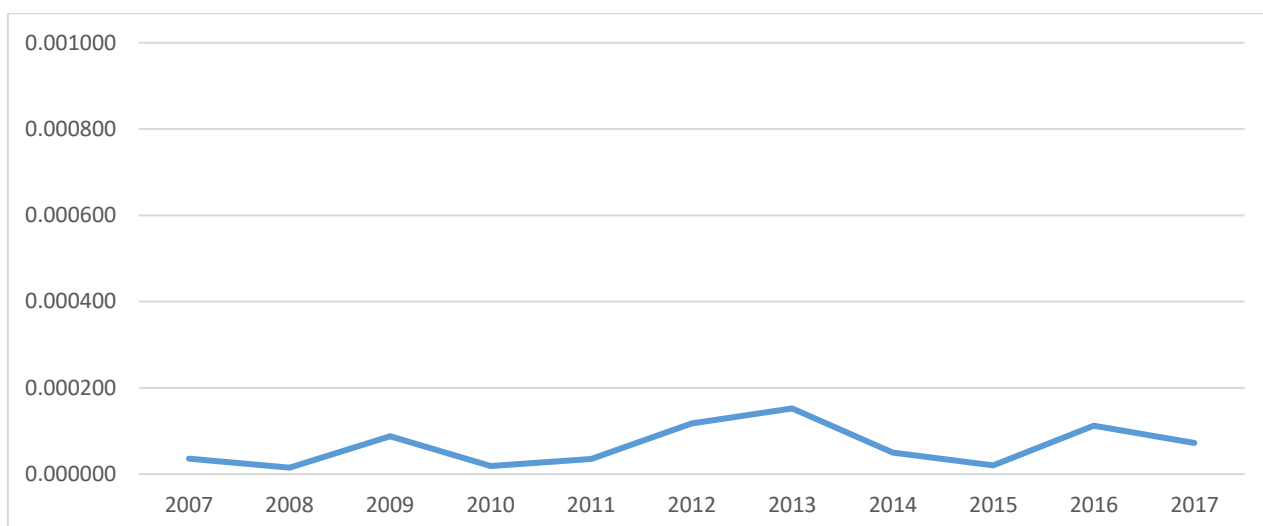
Стандартне відхилення (зміщене відхилення) по полю - аПАР води

Рік	Смещенное отклонение по полю SAS_Surface-active substances
2007	0,01
2008	0,00
2009	0,01
2010	0,00
2011	0,01
2012	0,01
2013	0,01
2014	0,01
2015	0,00
2016	0,01
2017	0,01
(пусто)	
Загалом	0,01



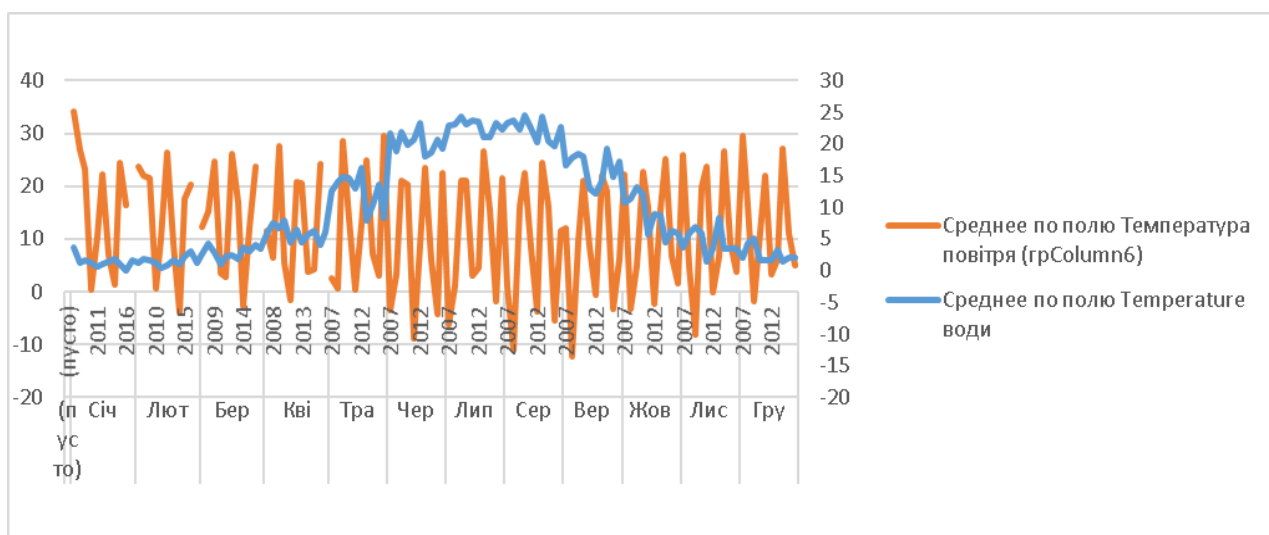
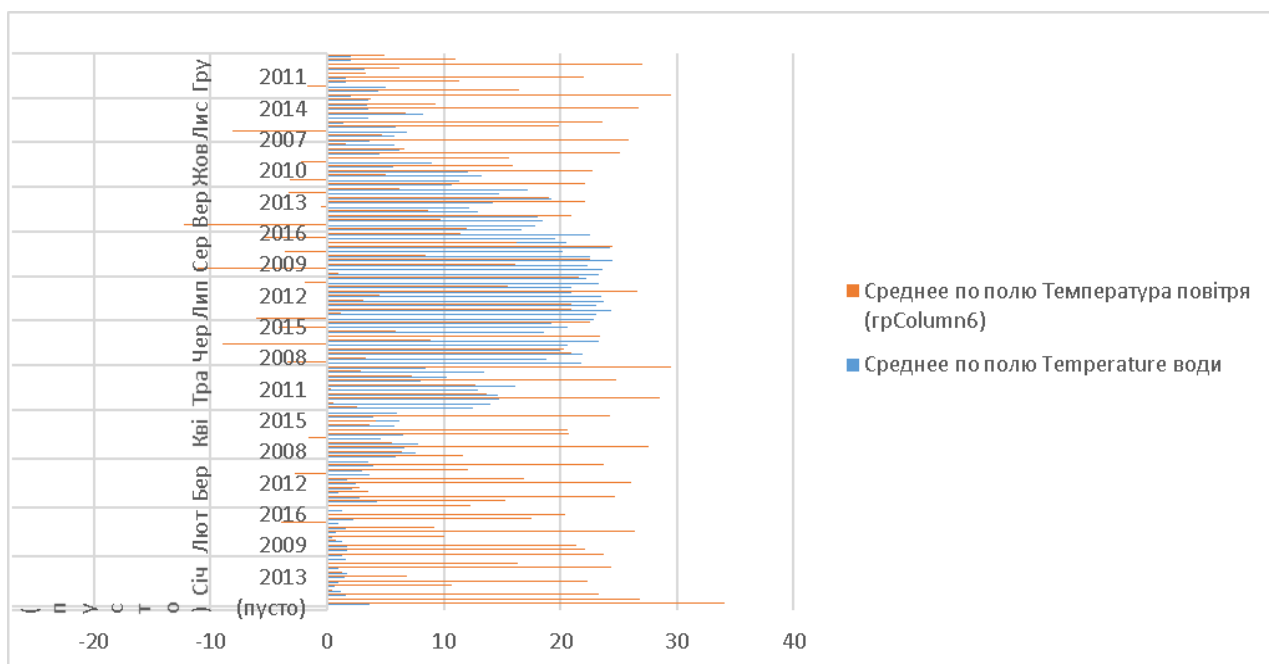
Зміщена дисперсія по полю - аПАР води

Рік	Смещенная дисперсия по полю SAS_Surface-active substances
2007	0,000036
2008	0,000015
2009	0,000088
2010	0,000019
2011	0,000035
2012	0,000118
2013	0,000152
2014	0,000050
2015	0,000021
2016	0,000112
2017	0,000072
Загалом	0,000093



Результат дисперсійного також підтвердив збільшений розброс значень температурного параметру і відповідно й засвідчив про наявність природніх ризиків.

ДОДАТОК Г

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ТА КОМБІНОВАНИЙ ГРАФІЧНИЙ РОЗПОДІЛ
ПОКАЗНИКІВ ВИМІРУ ЯКОСТІ ЗА ДОСЛІДЖУВАНИЙ ПЕРІОДГ.1 Порівняльний аналіз температури повітря в точці виміру та
температури водиРисунок Г.1 - Порівняльний графічний розподіл температури води та
повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за місяцямиРисунок Г.2 - Порівняльні діаграми розподілу температури води та
повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за місяцями

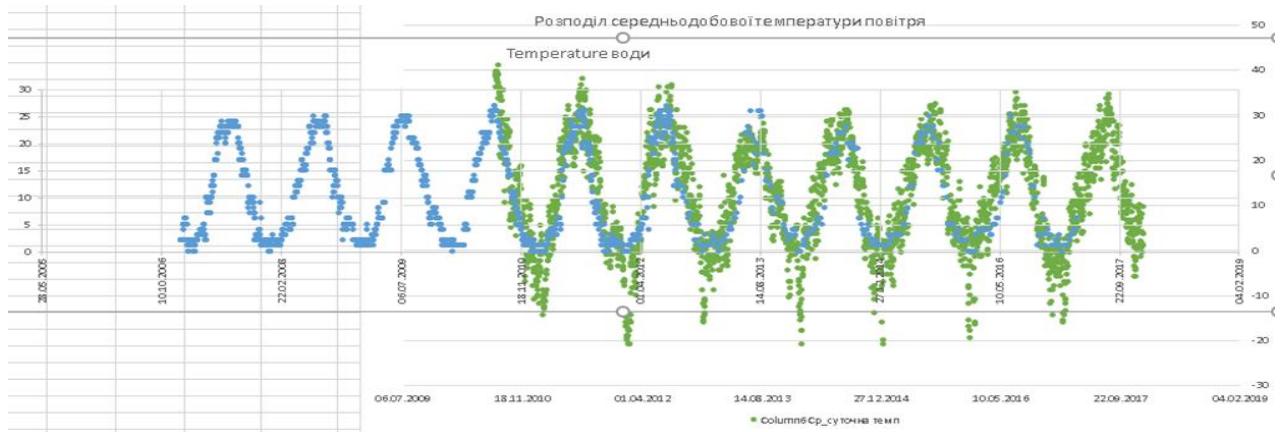


Рисунок Г.3 - Накладання розподілів сукупностей значень температури води та повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за роками

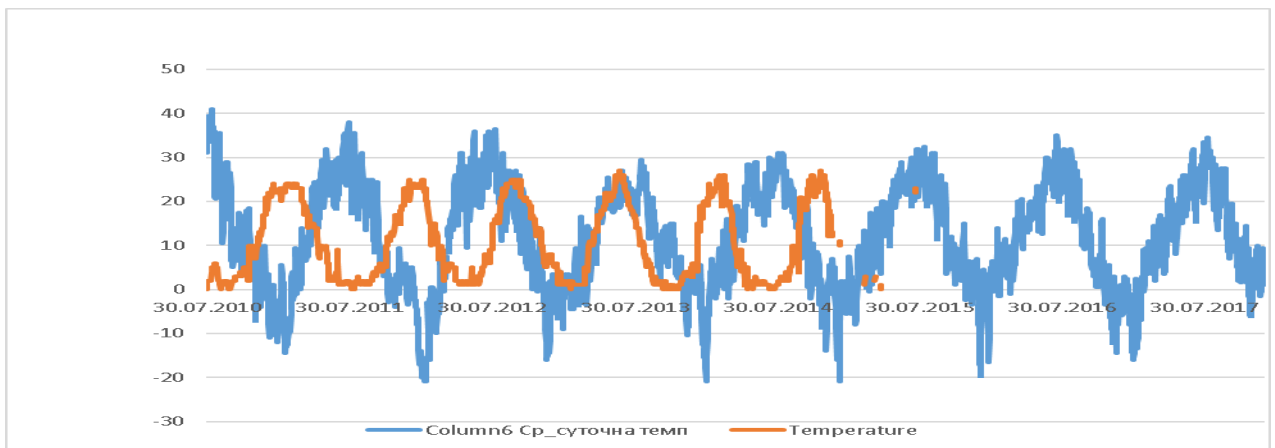


Рисунок Г.4 - Порівняльний графічний розподіл температури води та повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за роками

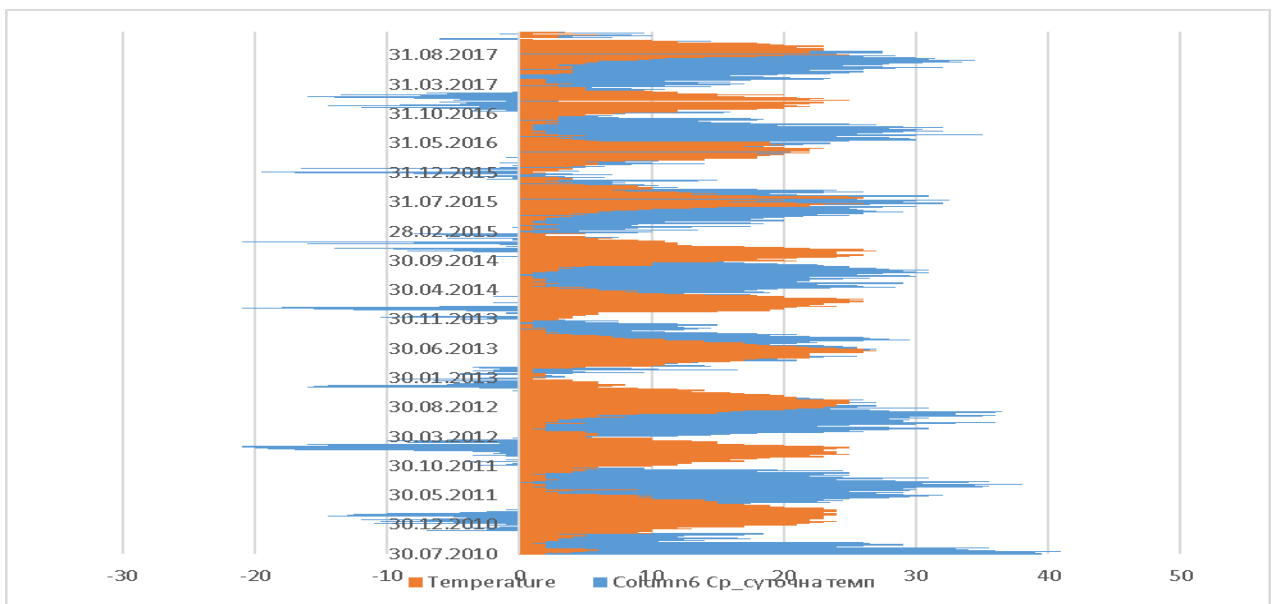


Рисунок Г.5 - Комбінований графічний розподіл температури води та повітря в точці виміру в період з 2010 року по 2017 рік за роками

Г.2 Порівняльний аналіз кольоровості та температури води:

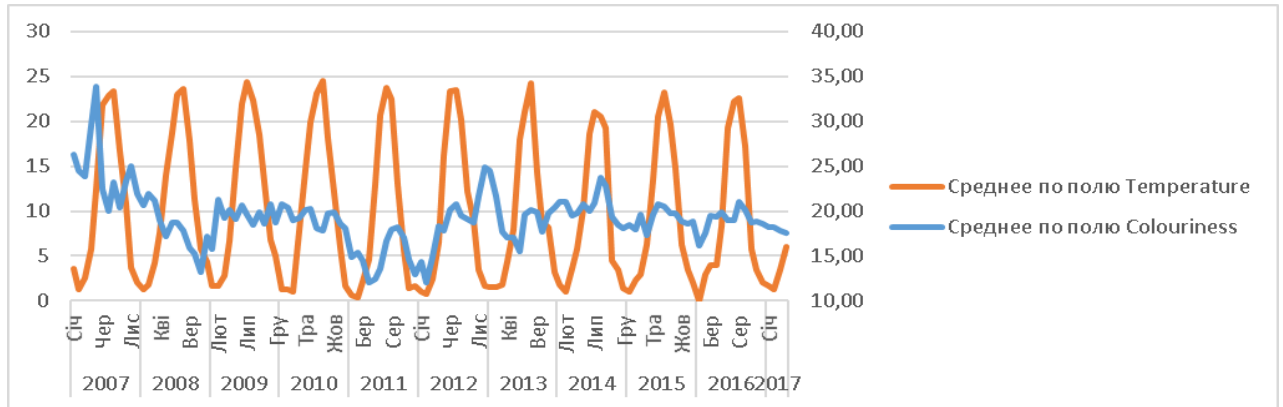


Рисунок Г.6 - Графік залежності розподілу показника кольоровості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

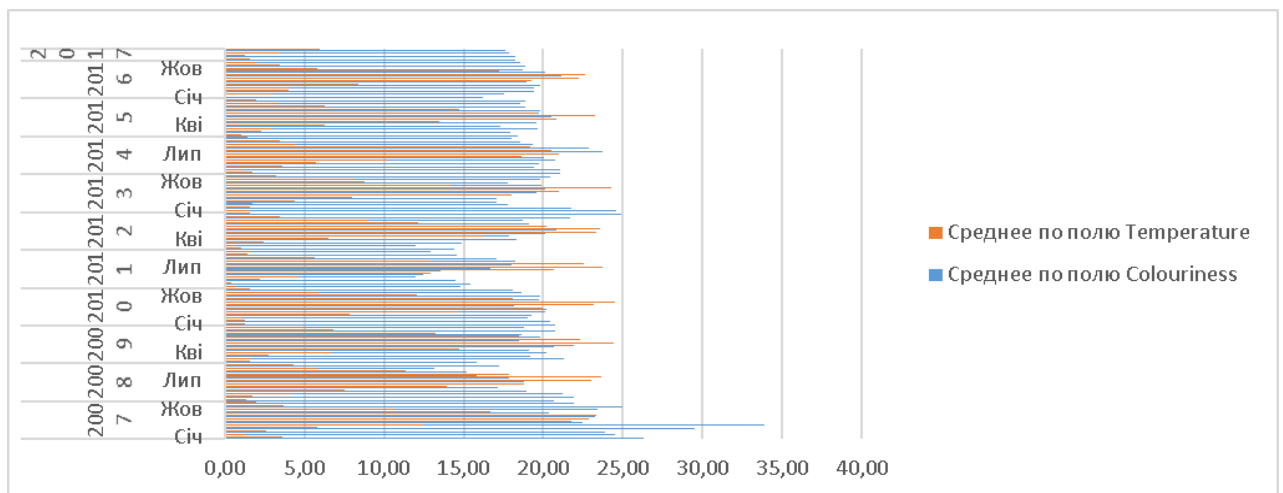


Рисунок Г.7 - Діаграма розподілу сукупностей показника кольоровості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

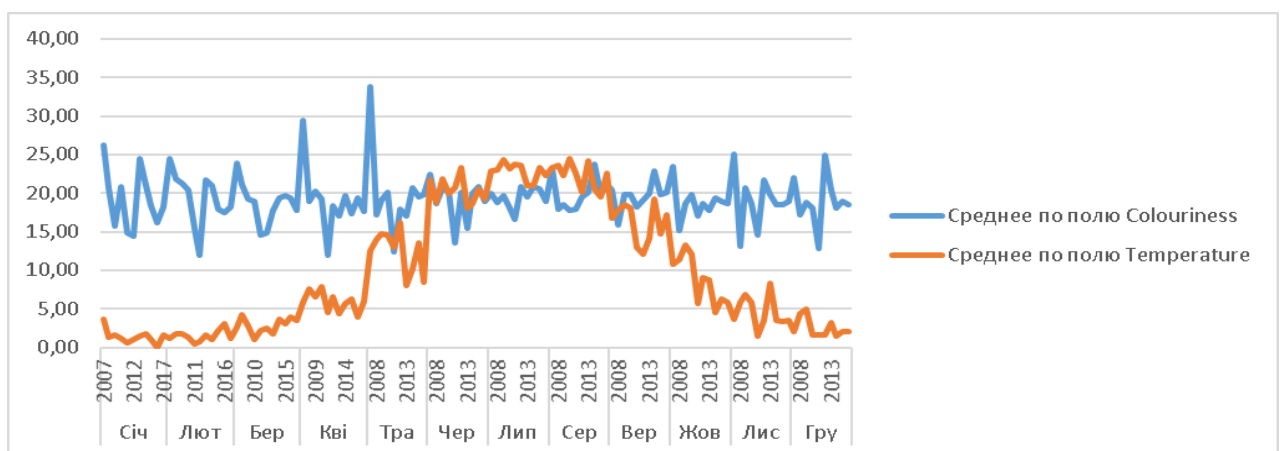


Рисунок Г.8 - Комплексний графік залежності розподілу показника кольоровості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

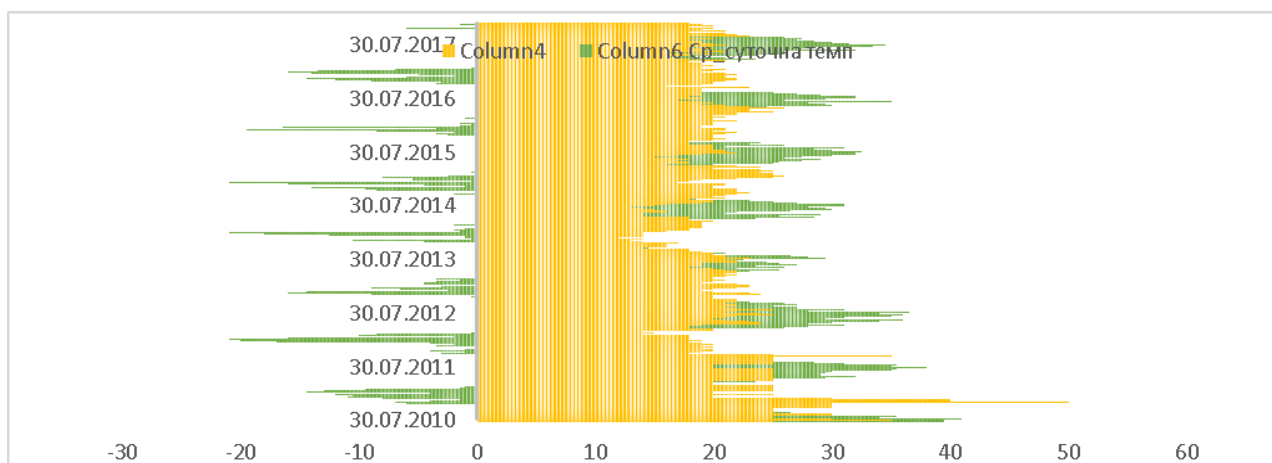


Рисунок Г.9 - Діаграма розподілу сукупностей показника кольоровості та температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

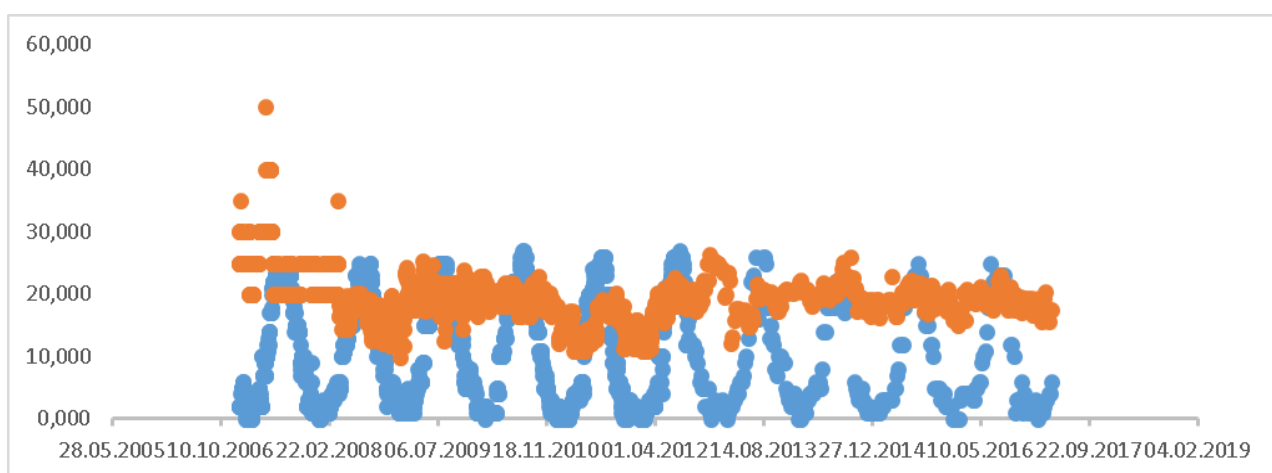


Рисунок Г.10 - Графічний розподіл сукупностей показника кольоровості та температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

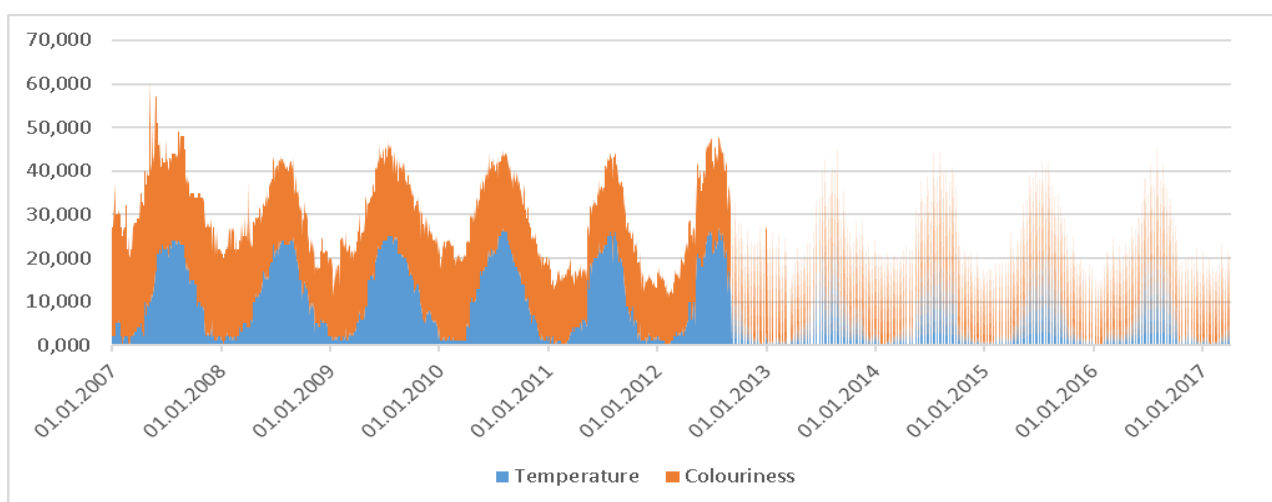


Рисунок Г.11 - Комплексна діаграма розподілу сукупностей показника кольоровості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.3 Порівняльний аналіз температури та прозорість води

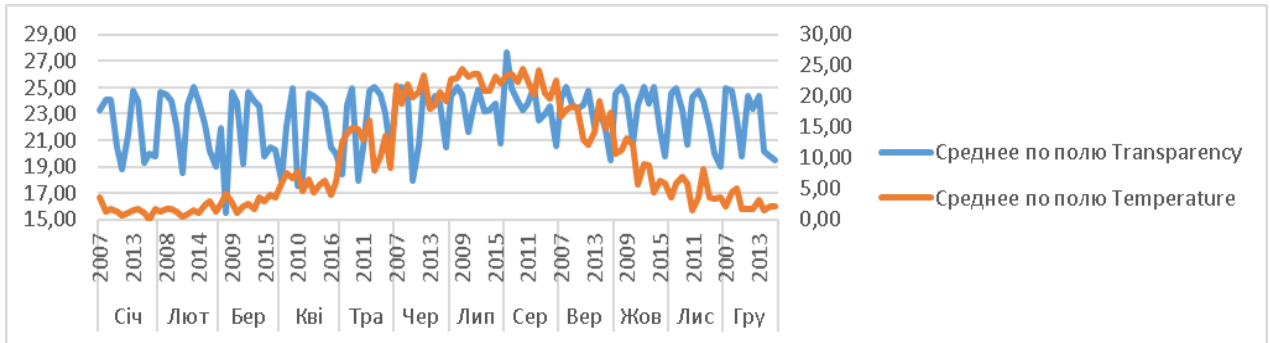


Рисунок Г.12 - Комплексний графік залежності розподілу показника прозорості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

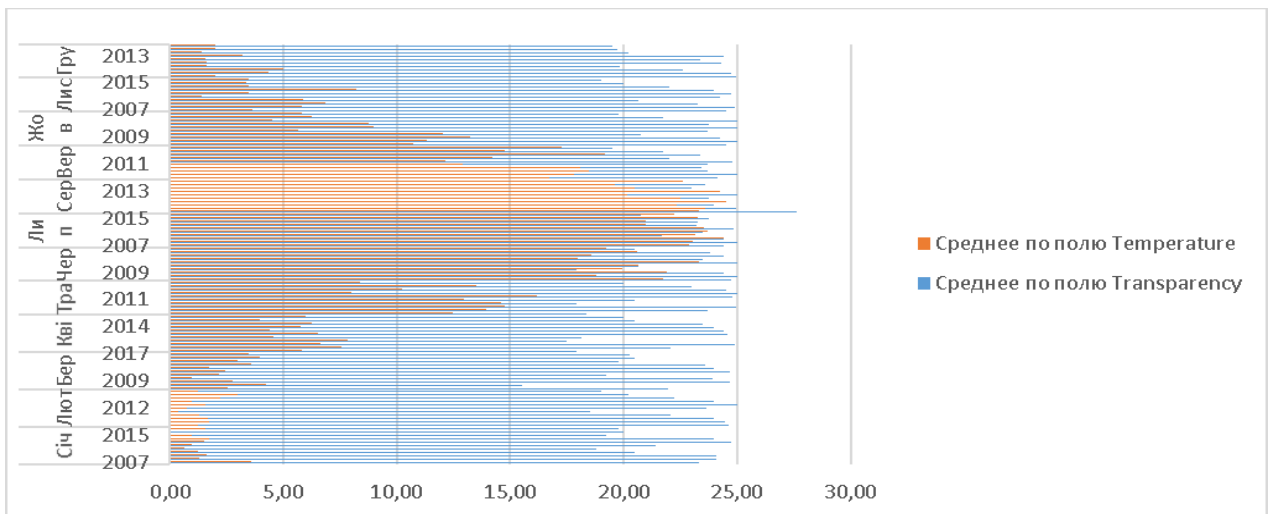


Рисунок Г.13 - Діаграма залежності розподілу показника прозорості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

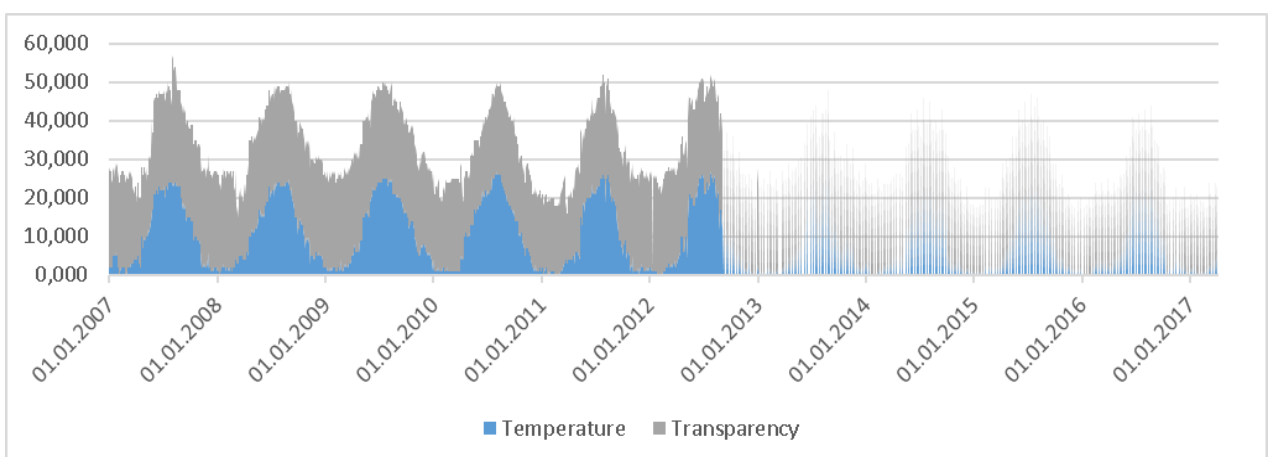


Рисунок Г.14 - Діаграма розподілу сукупностей показника прозорості від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.4 Порівняльний аналіз рН та температури води:

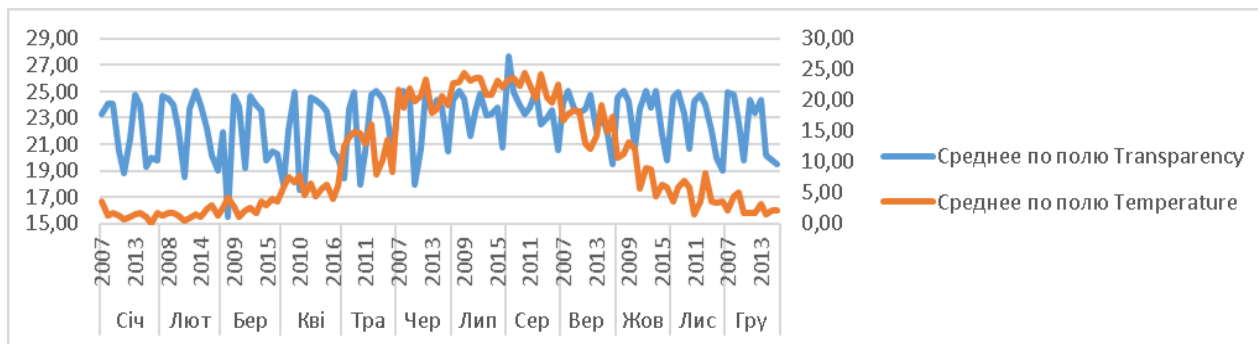


Рисунок Г.15 - Графік залежності розподілу показника рН від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

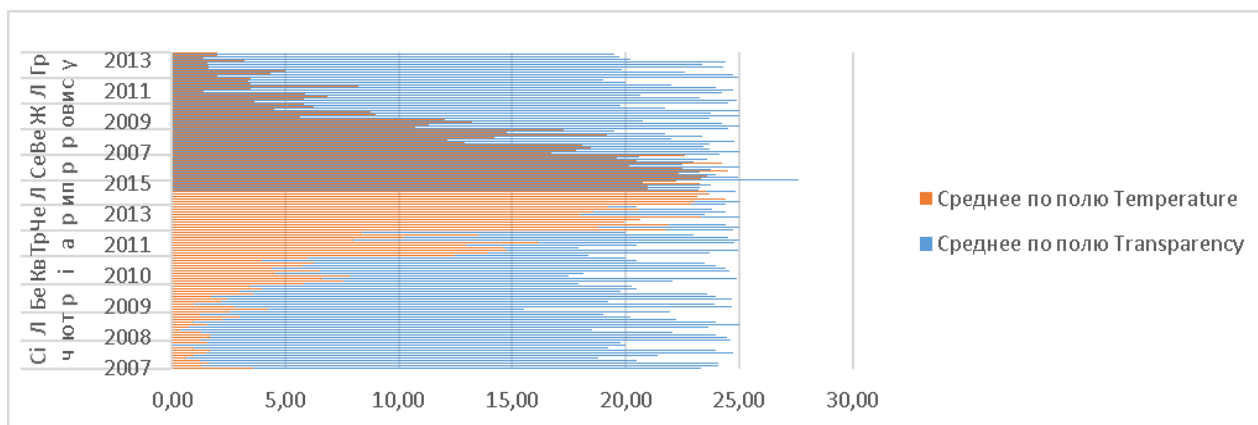


Рисунок Г.16 - Діаграма розподілу сукупностей показника рН від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

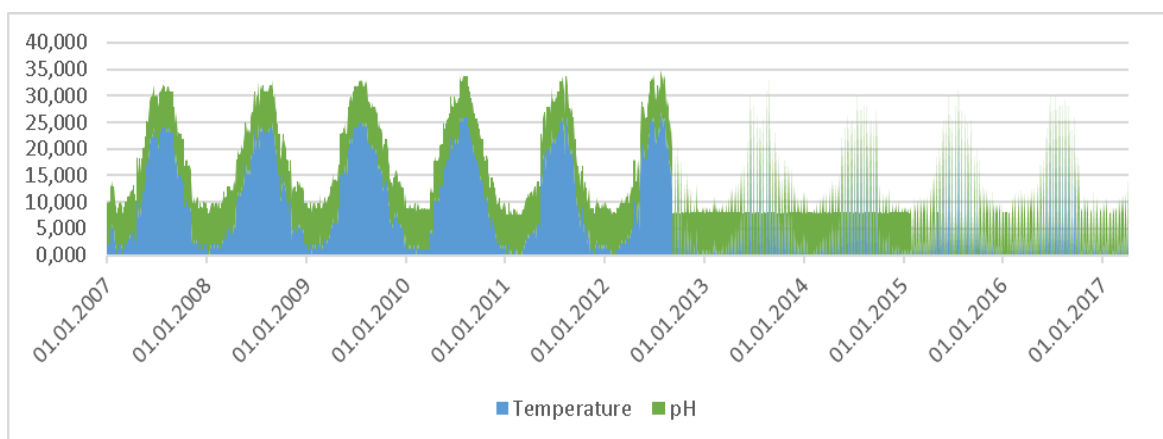


Рисунок Г.17 - Комплексний графік залежності розподілу показника рН від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

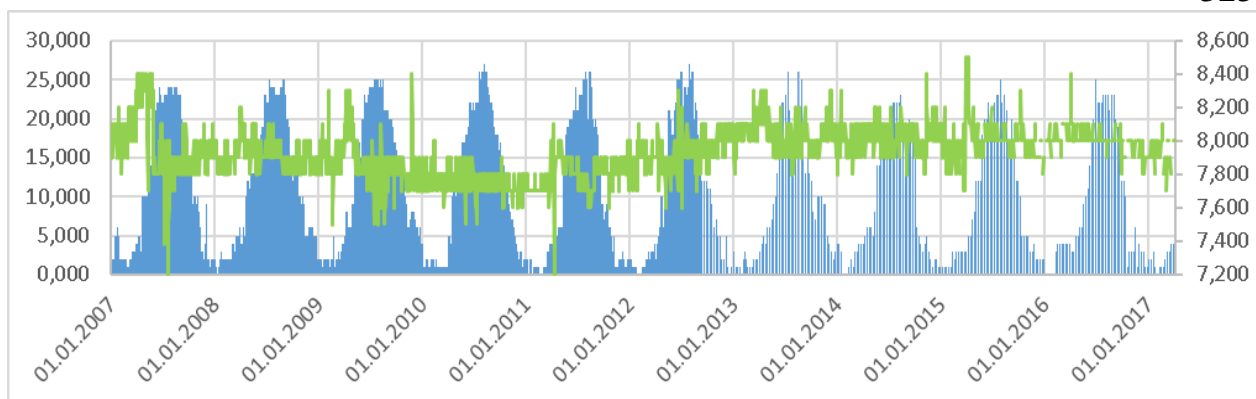


Рисунок Г.18 - Комплексний графік залежності розподілу показника рН від температури води в період з 2007 року по 2017 рік

Г.5 Порівняльний аналіз завислих речовин та температури води:

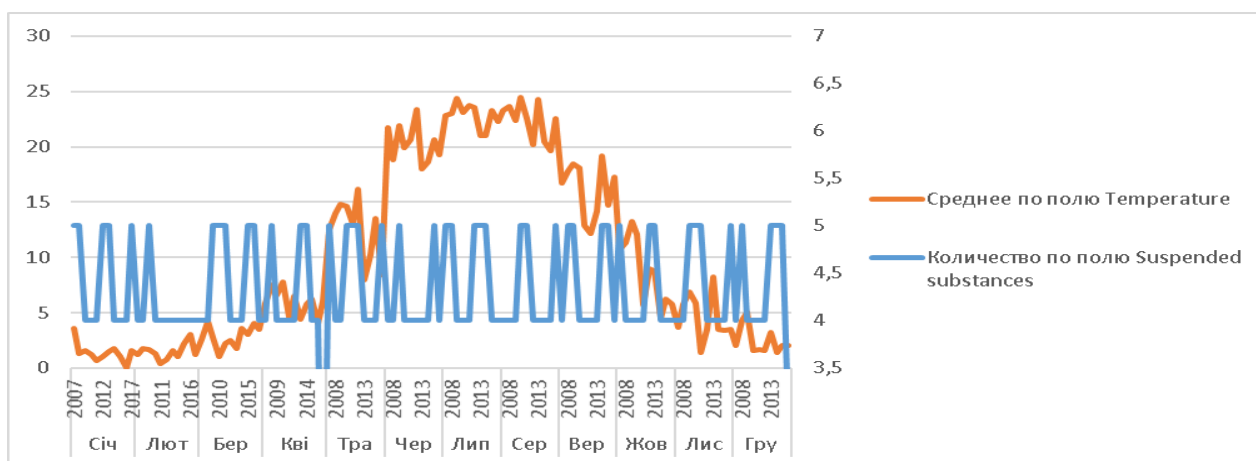


Рисунок Г.19 - Графік залежності розподілу показника завислі речовини від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

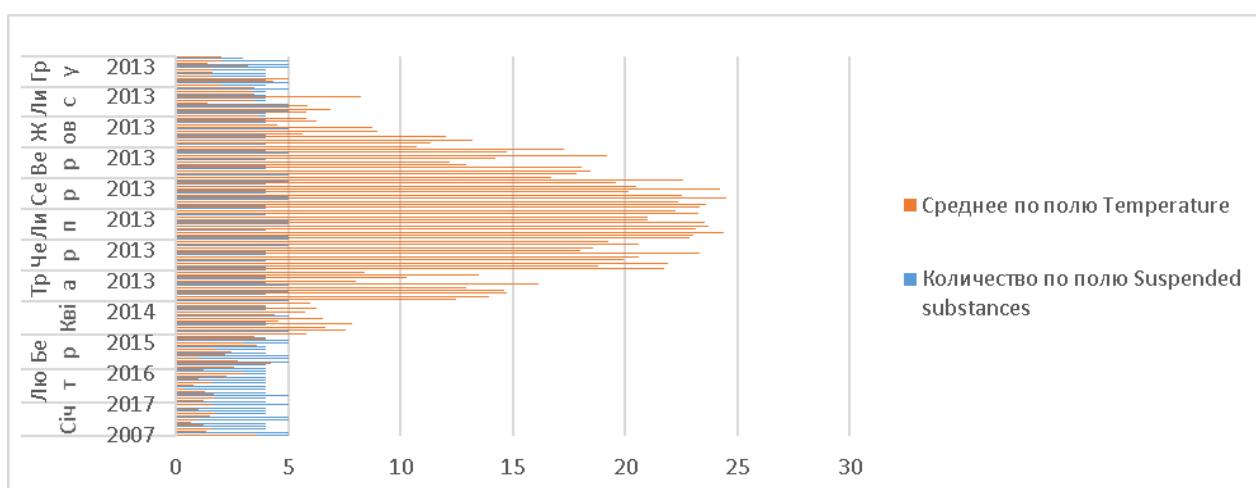


Рисунок Г.20 - Діаграма розподілу сукупностей показника завислі речовини від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

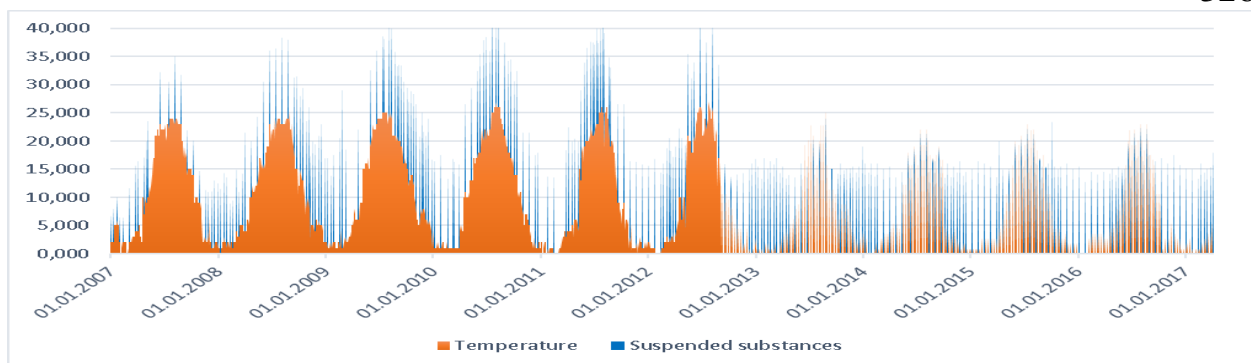


Рисунок Г.21 - Комплексний графік залежності розподілу показника завислі речовини від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

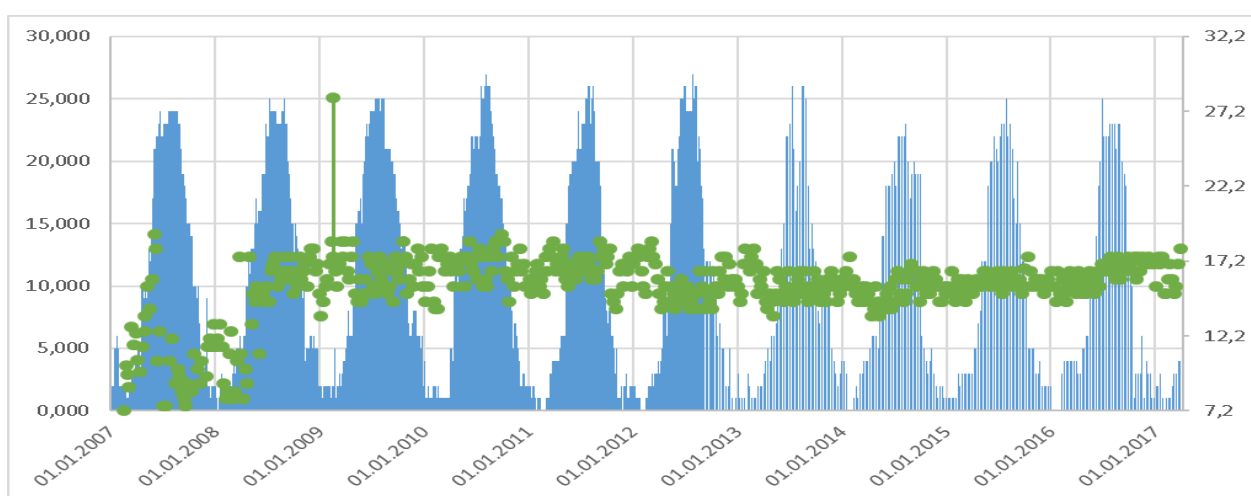


Рисунок Г.22 - Комплексний графік розподілу показника завислі речовини від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.6 Порівняльний аналіз хімічного споживання кисню (ХСК) та температури води:

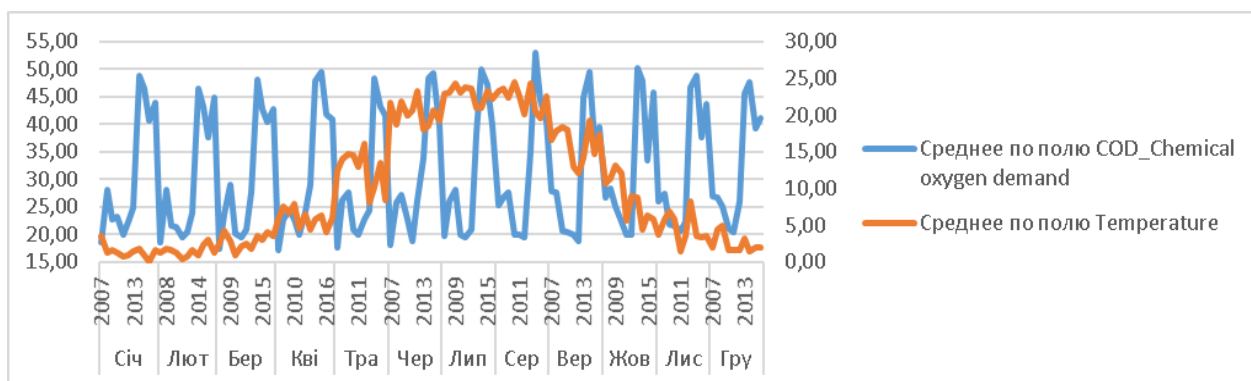


Рисунок Г.23 - Графік залежності розподілу показника ХСК від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

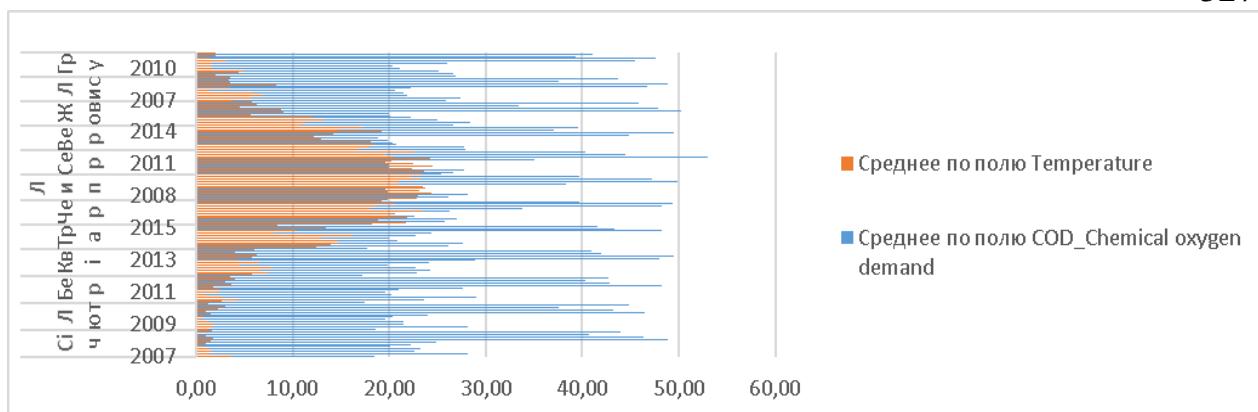


Рисунок Г.24 - Діаграма розподілу сукупностей показника ХСК від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

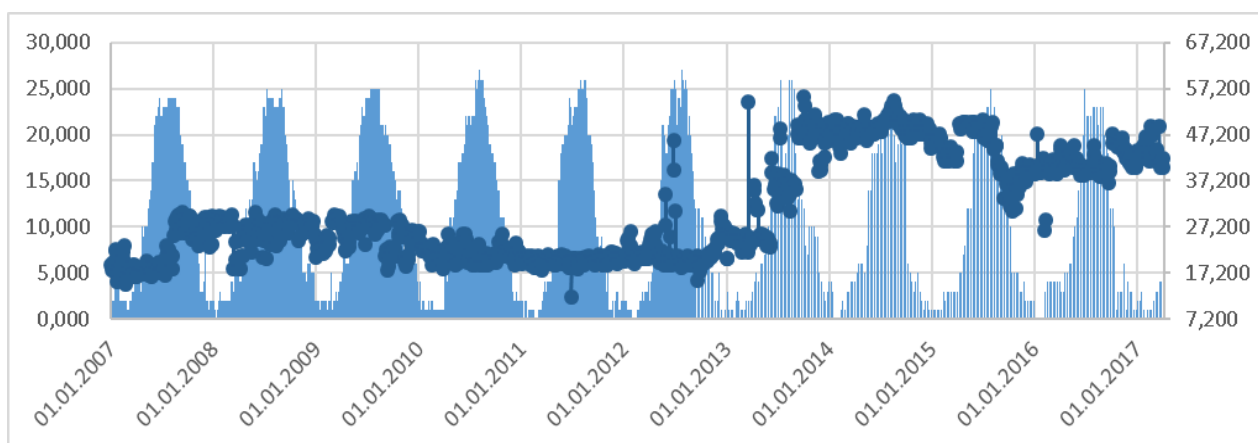


Рисунок Г.25 - Комплексний графік залежності розподілу показника ХСК від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

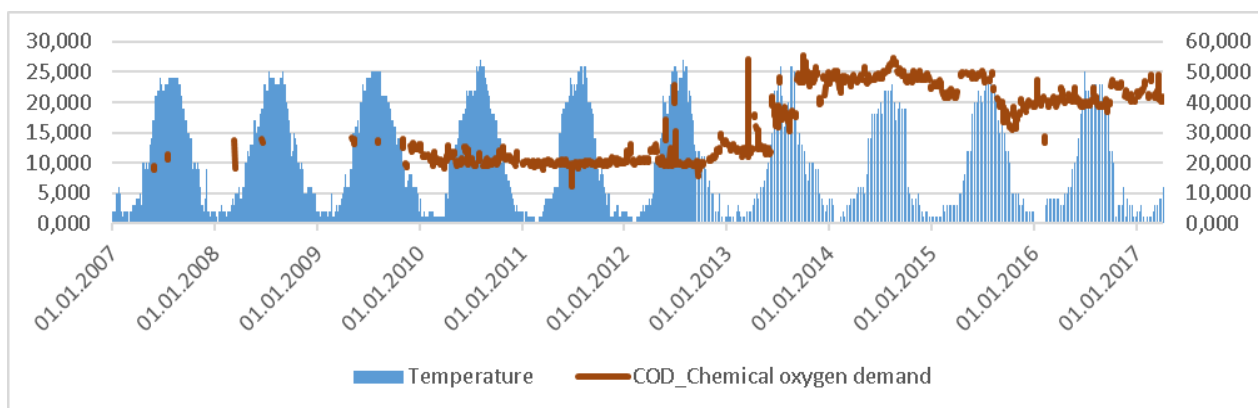


Рисунок Г.26 - Діаграма розподілу сукупностей показника ХСК від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

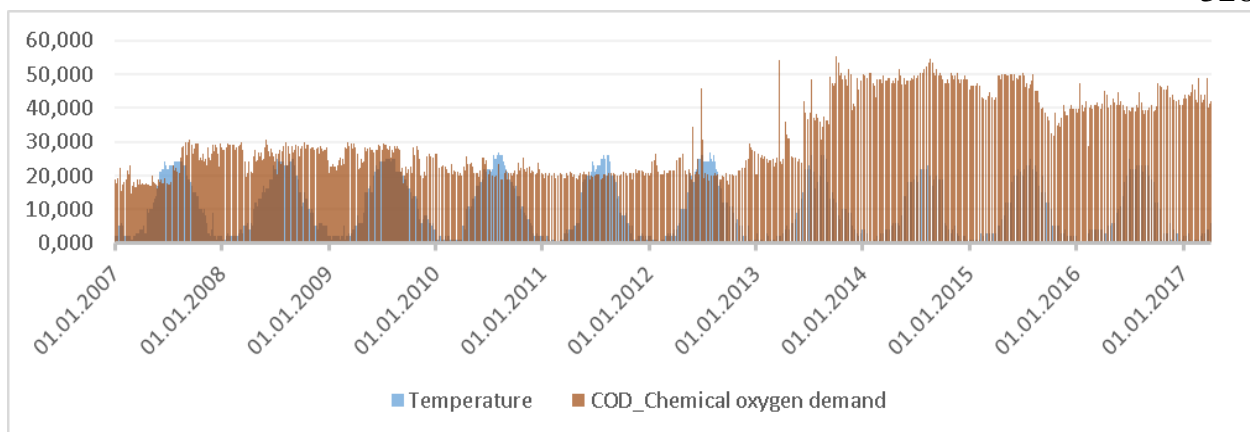


Рисунок Г.27 - Діаграма розподілу сукупностей показника ХСК на фоні температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.7 Порівняльний аналіз азот амонійний та температури води:

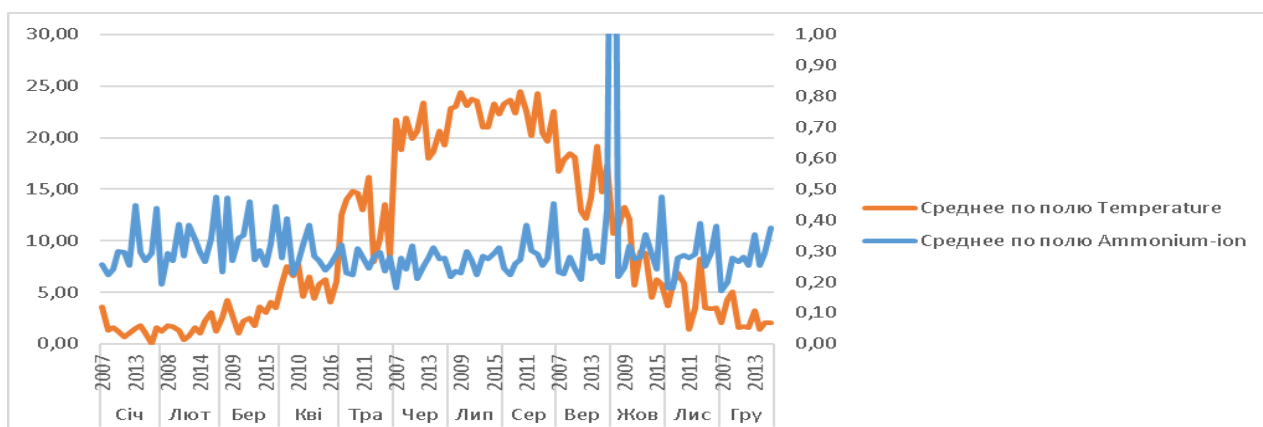


Рисунок Г.28 - Графік залежності розподілу показника азот амонійний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

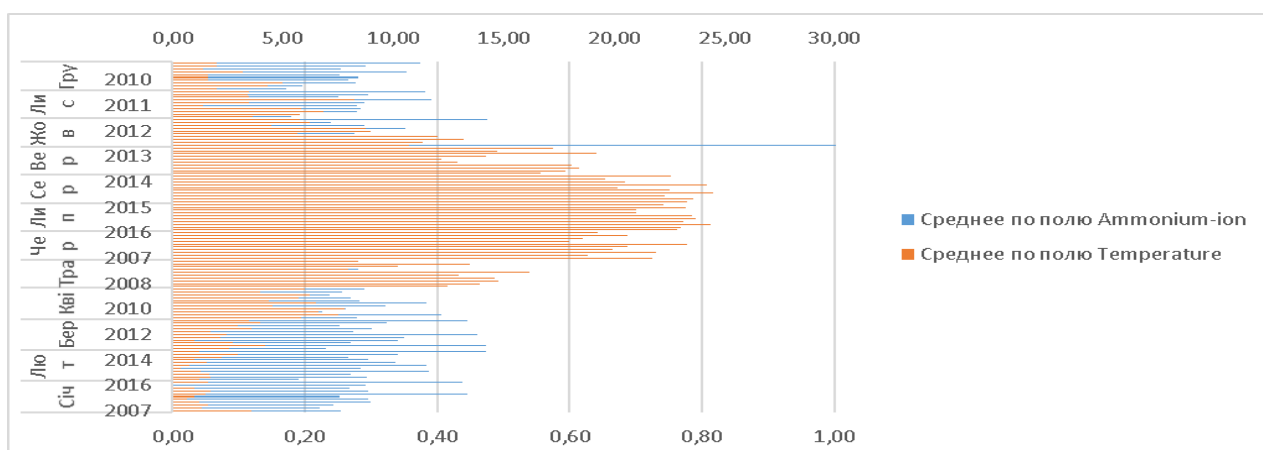


Рисунок Г.29 - Діаграма розподілу сукупностей показника азот амонійний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

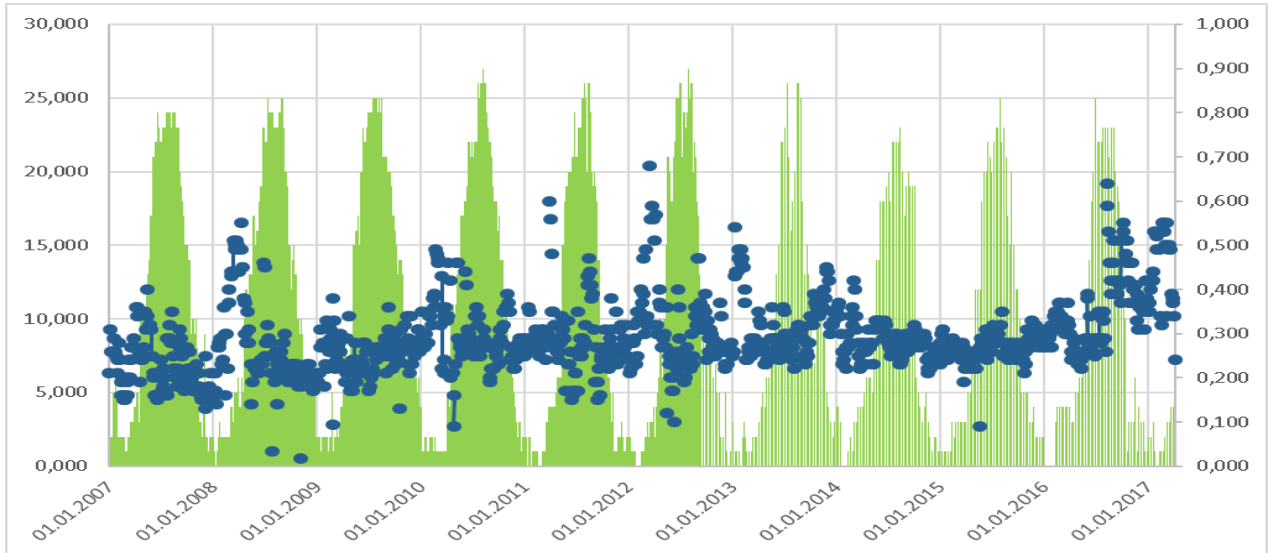


Рисунок Г.30 - Комплексний графік залежності розподілу показника азот амонійний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

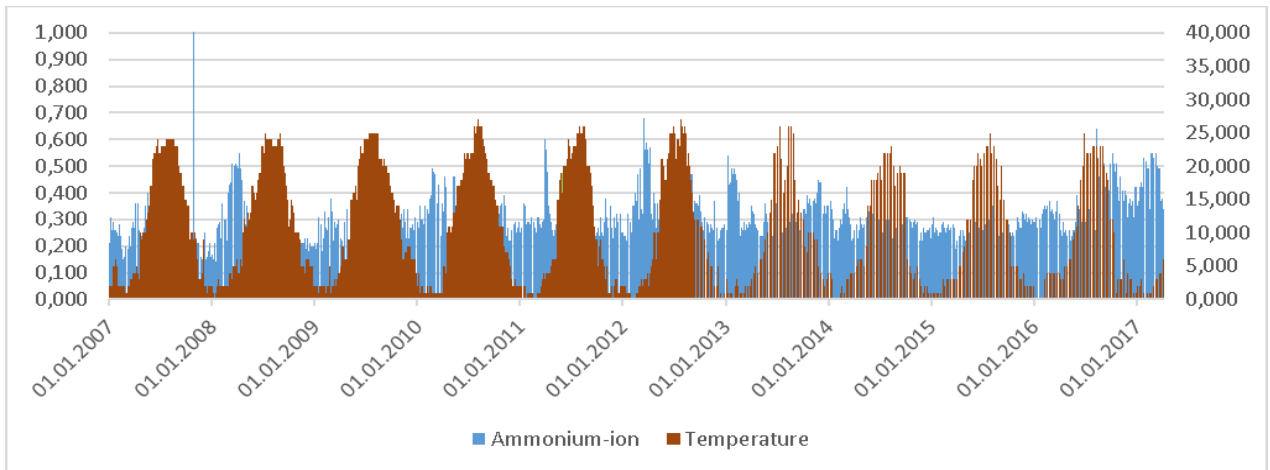


Рисунок Г.31 Комплексний графік залежності розподілу показника азот амонійний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

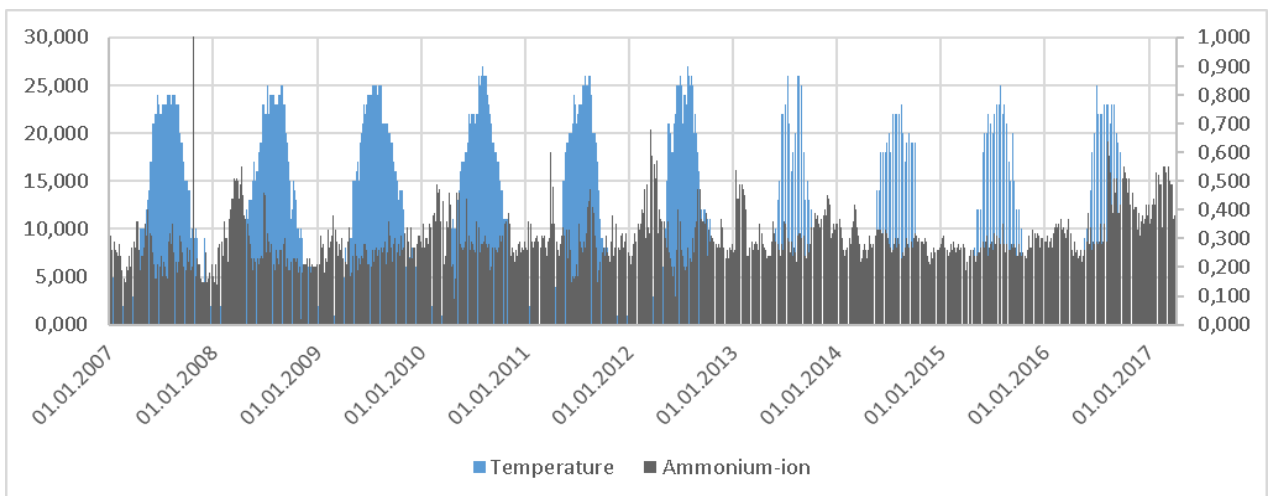


Рисунок Г.32 - Комбінований графік залежності розподілу показника азот амонійний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.8 Порівняльний аналіз азот нітритний та температури води:

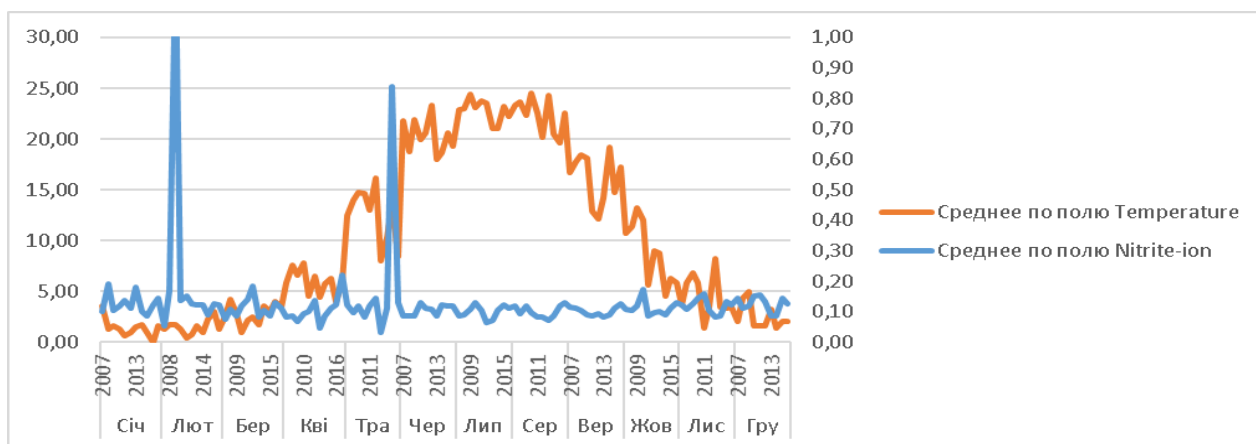


Рисунок Г.33 - Графік залежності розподілу показника азот нітритний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

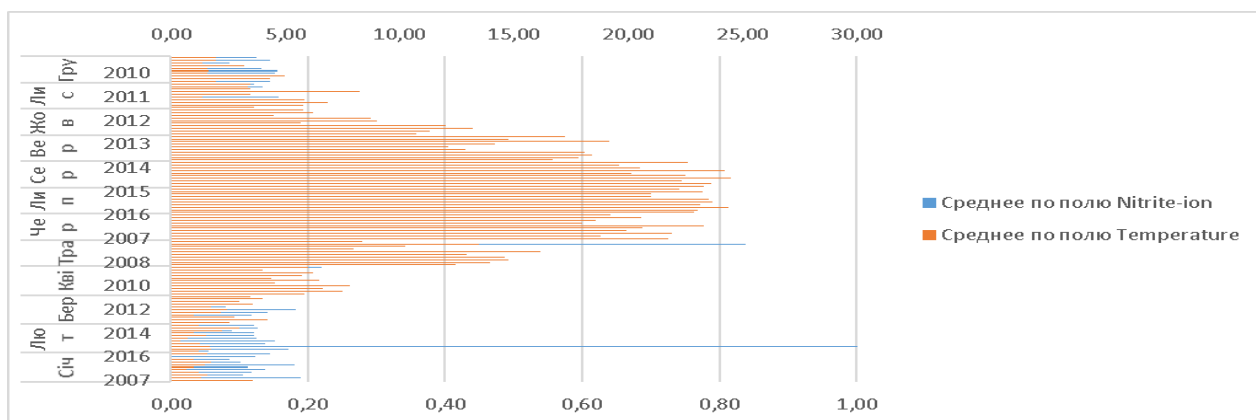


Рисунок Г.34 - Діаграма розподілу сукупностей показника азот нітритний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

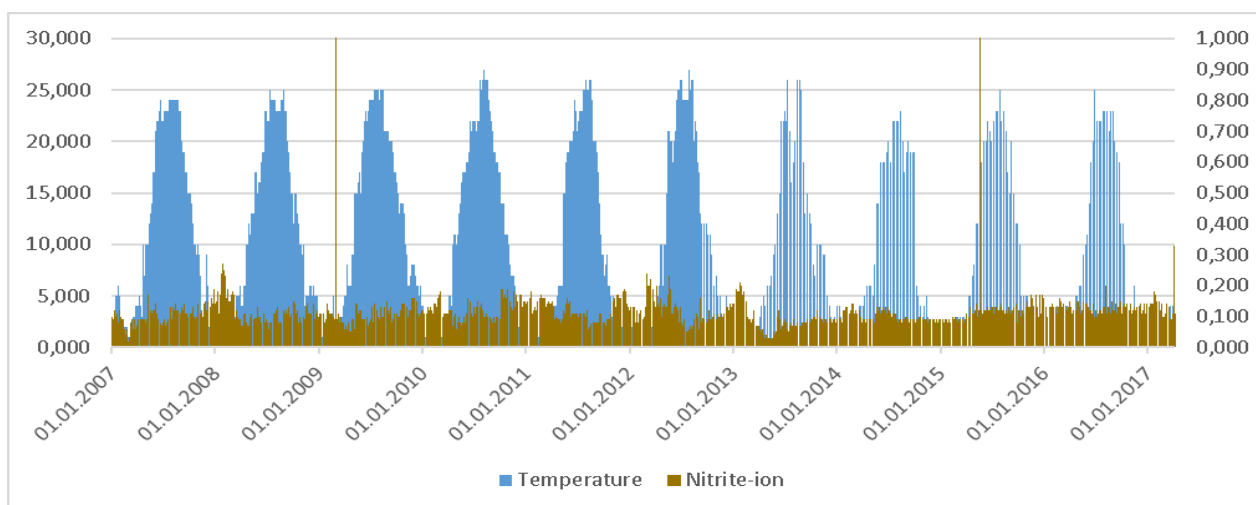


Рисунок Г.35 - Комплексний графік залежності розподілу показника азот нітритний від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.9 Порівняльний аналіз азоту нітратного та температури води:

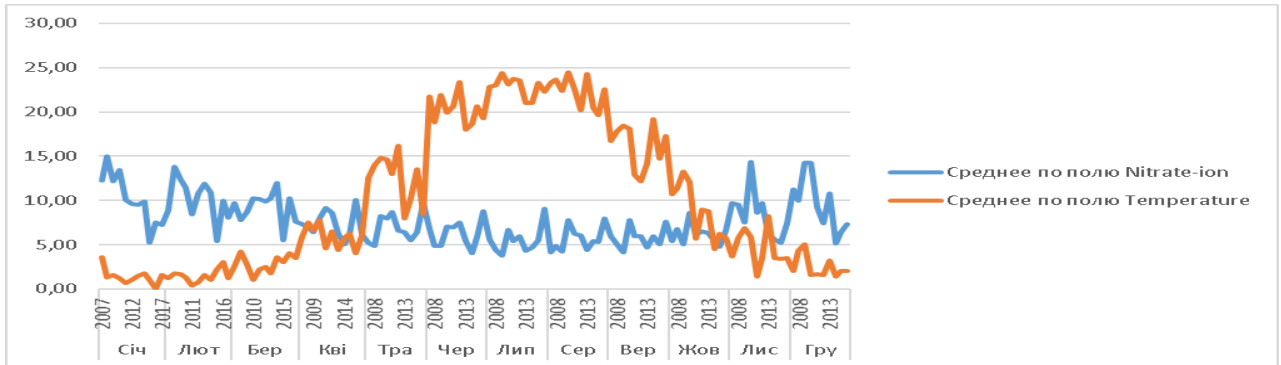


Рисунок Г.36 - Графік залежності розподілу показника азоту нітратного від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

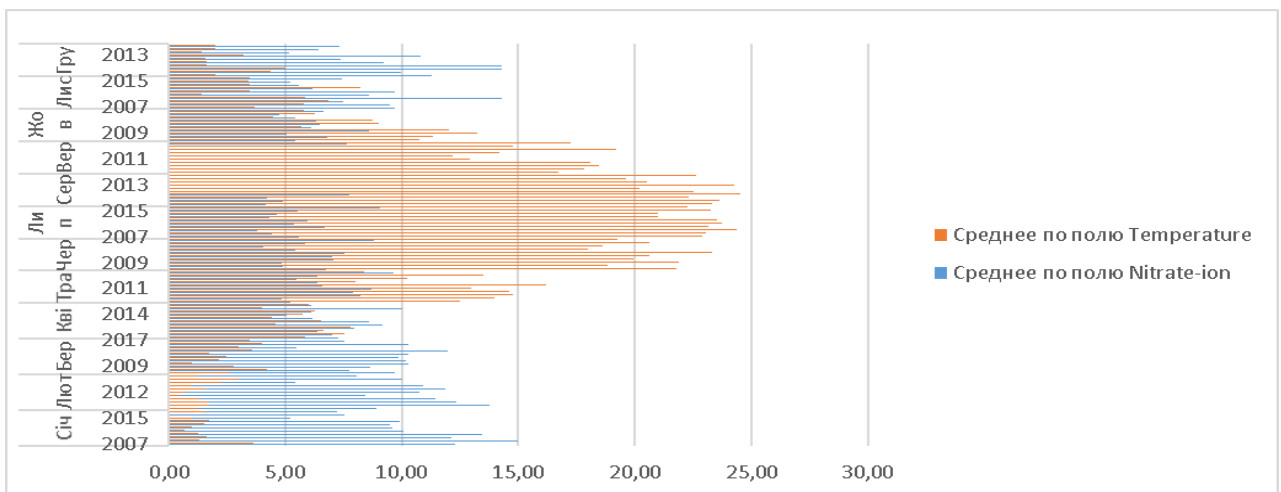


Рисунок Г.37 - Діаграма розподілу сукупностей показника азоту нітратного від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

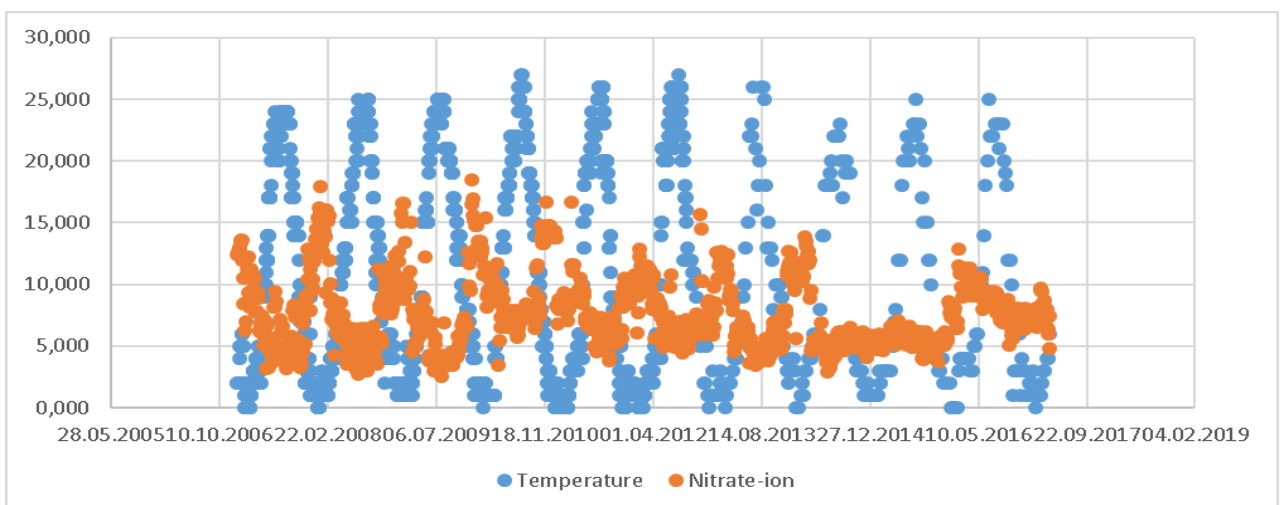


Рисунок Г.38 - Комплексний графік залежності розподілу показника азоту нітратного від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

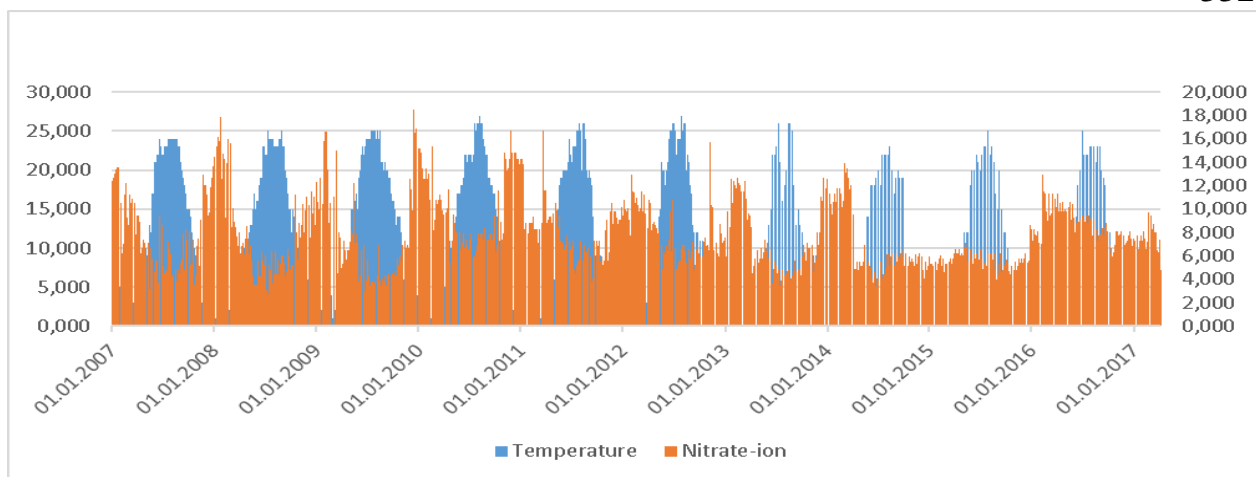


Рисунок Г.39 - Комплексний графік розподілу показника азоту нітратного від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.10 Порівняльний аналіз хлориди та температури води:

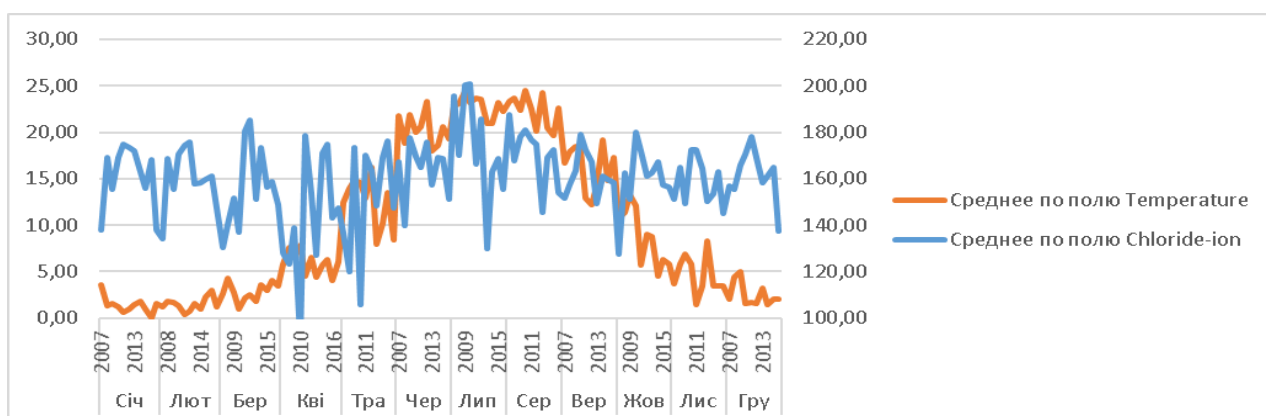


Рисунок Г.40 - Графік залежності розподілу показника хлориди від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

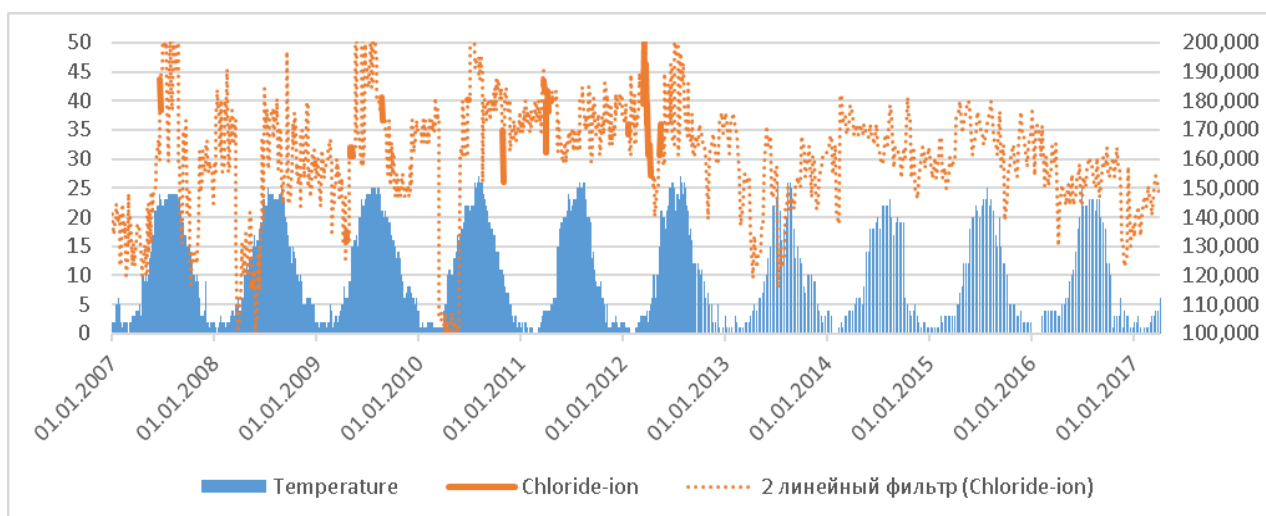


Рисунок Г.41 - Діаграма розподілу сукупностей показника хлориди від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

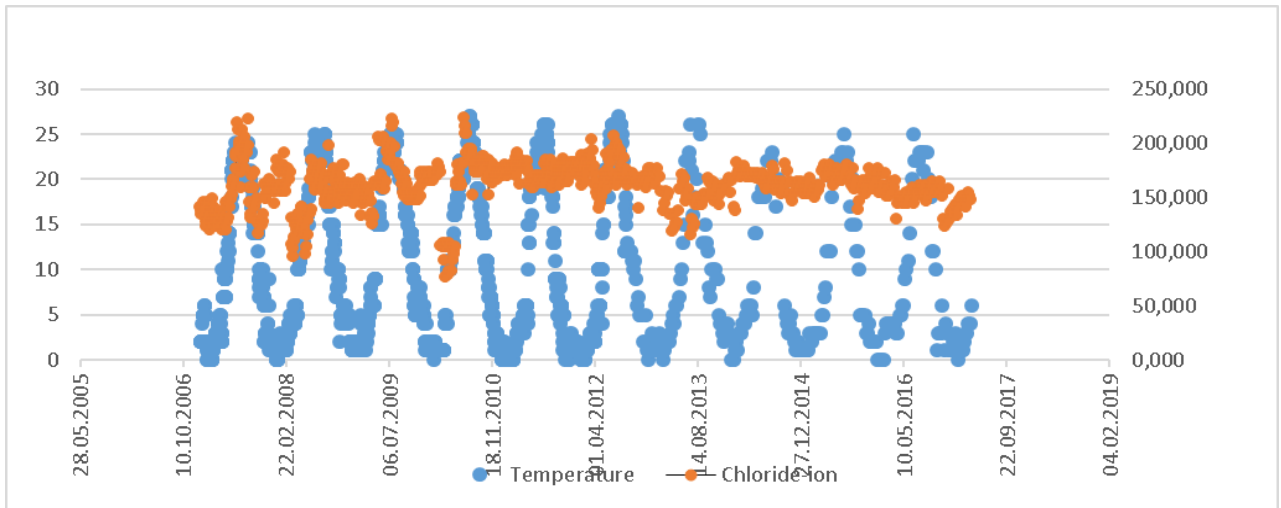


Рисунок Г.42 - Комплексний графік залежності розподілу показника хлориди від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.11 Порівняльний аналіз сульфати та температури води:

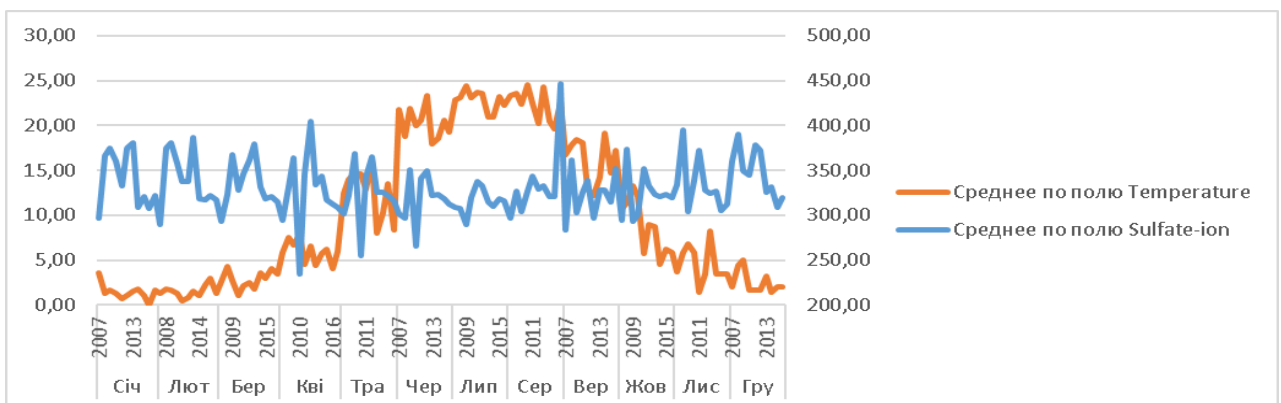


Рисунок Г.43 - Графік залежності розподілу показника сульфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

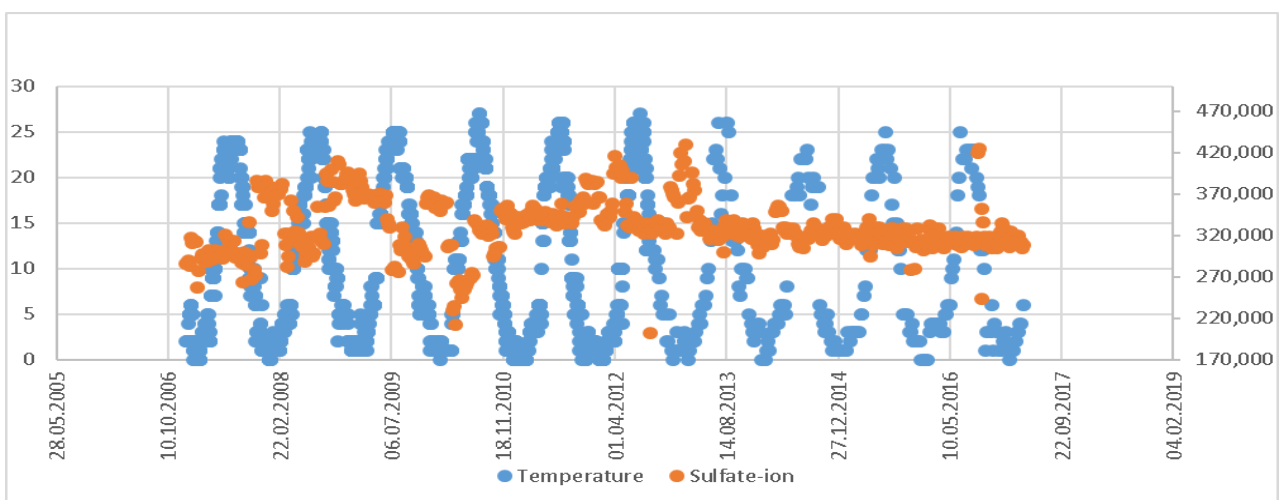


Рисунок Г.44 - Діаграма розподілу сукупностей показника сульфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

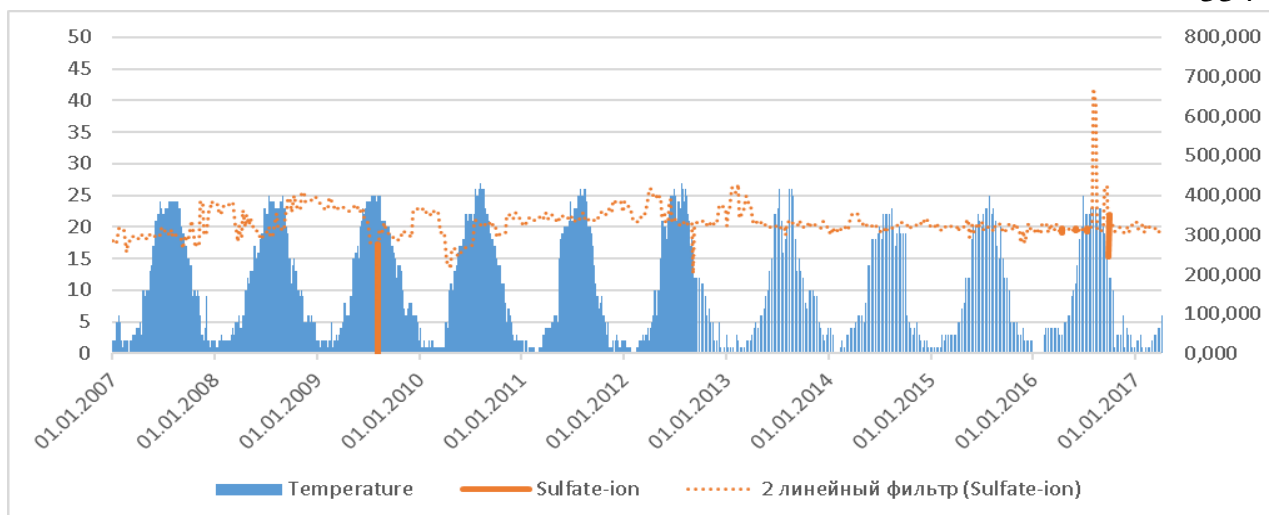


Рисунок Г.45 - Комплексний графік залежності розподілу показника сульфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.12 Порівняльний аналіз іони заліза та температури води:

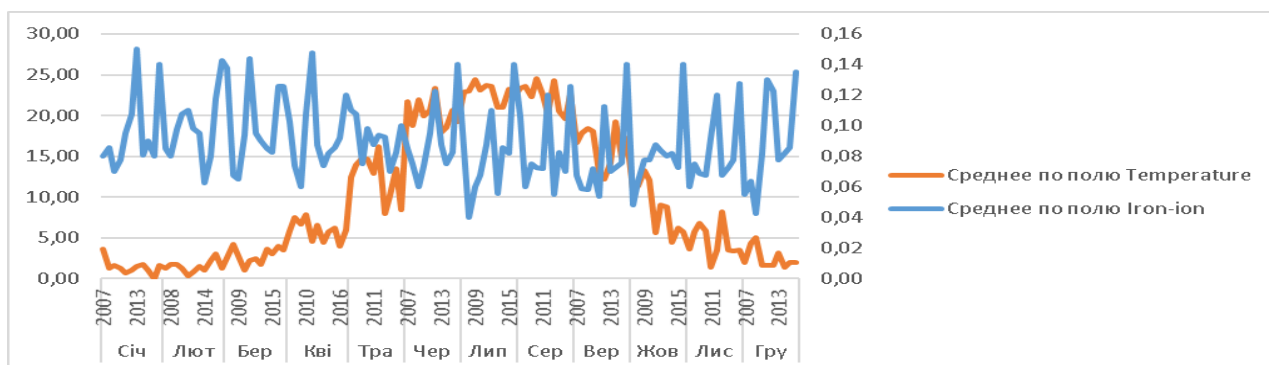


Рисунок Г.46 - Графік залежності розподілу показника заліза від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

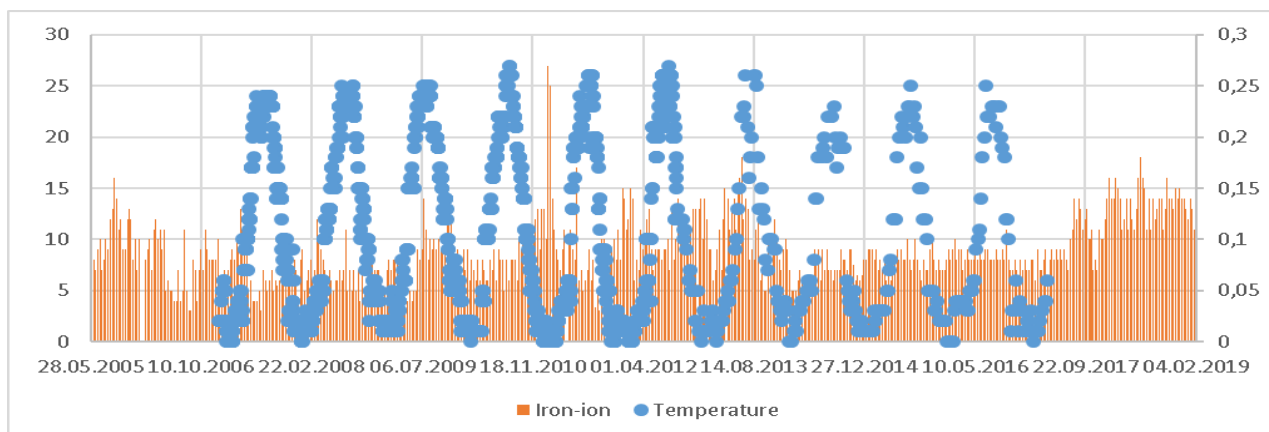


Рисунок Г.47 - Діаграма розподілу сукупностей показника заліза від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

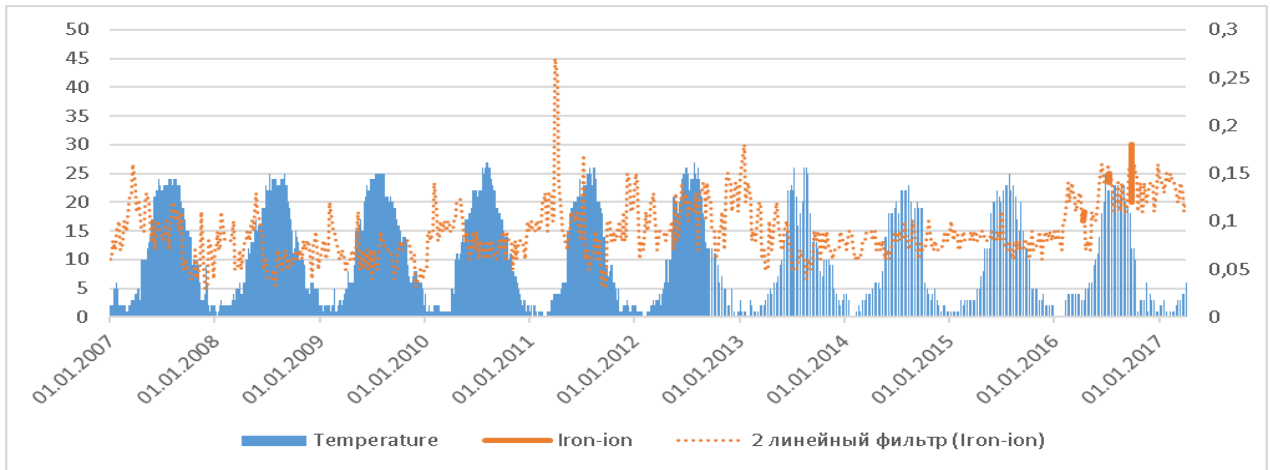


Рисунок Г.48 - Комплексний графік залежності розподілу показника заліза від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.13 Порівняльний аналіз феноли та температури води:

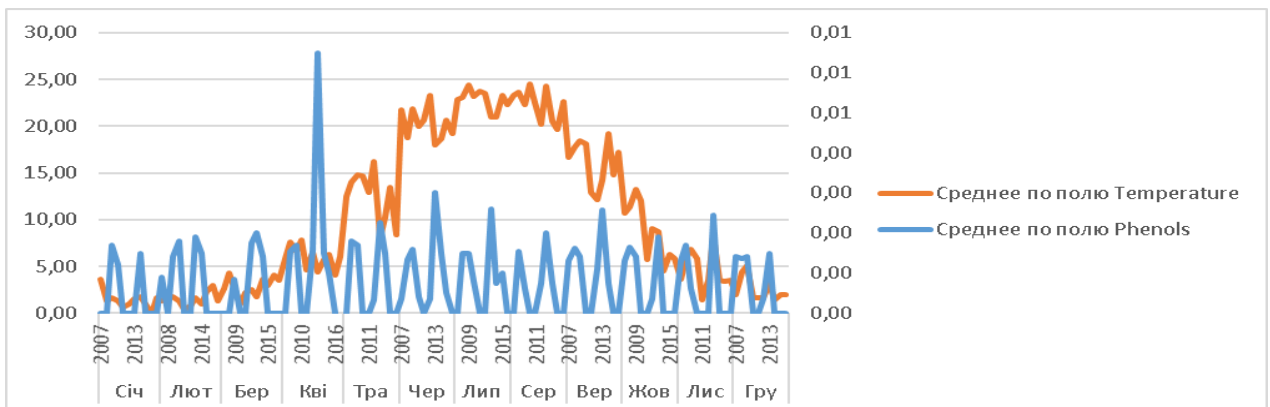


Рисунок Г.49 - Графік залежності розподілу показника феноли від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

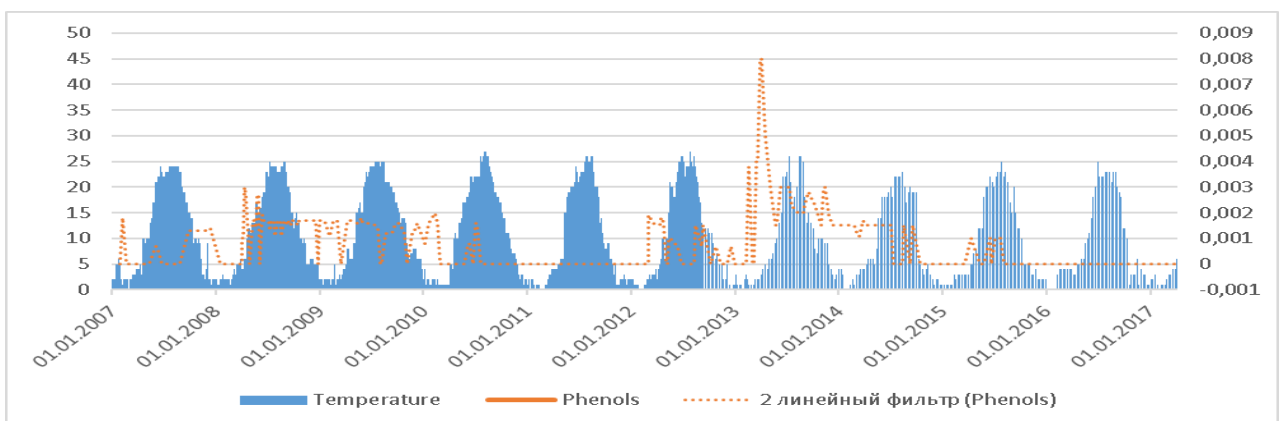


Рисунок Г.50 - Діаграма розподілу сукупностей показника феноли від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

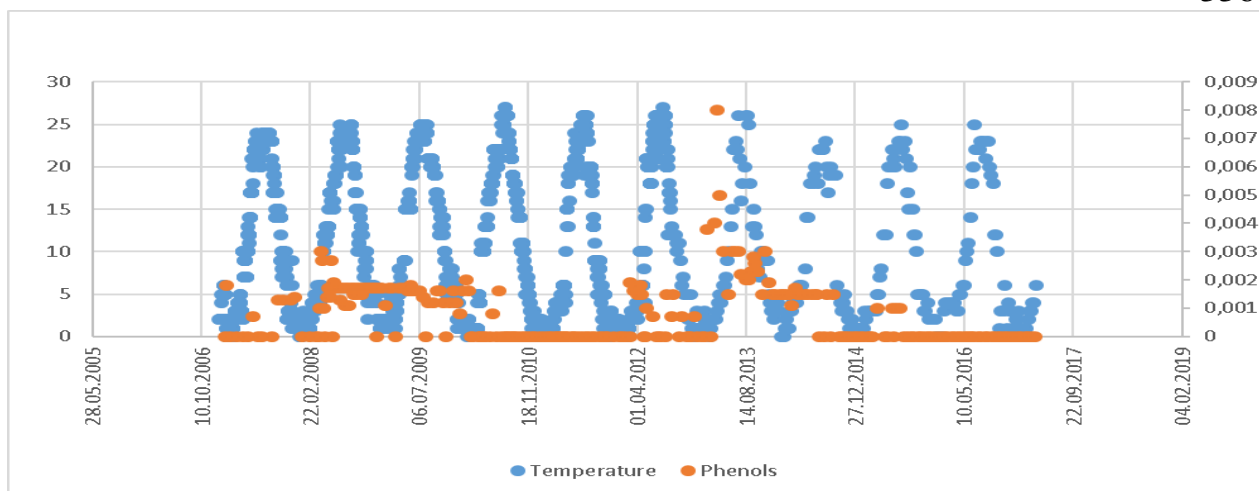


Рисунок Г.51 - Комплексний графік залежності розподілу показника феноли від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.14 Порівняльний аналіз розчинний кисень та температури води:

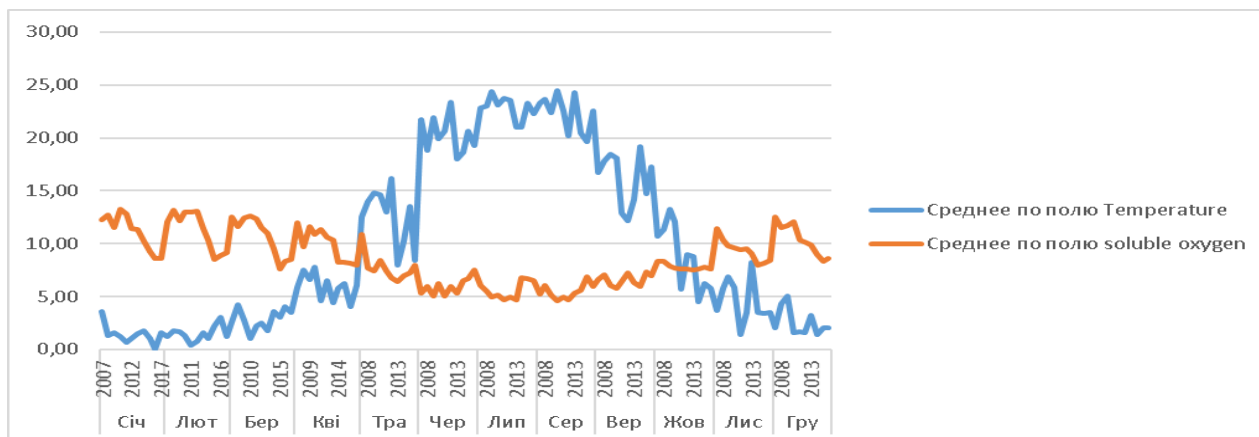


Рисунок Г.52 - Графік залежності розподілу показника розчинний кисень від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

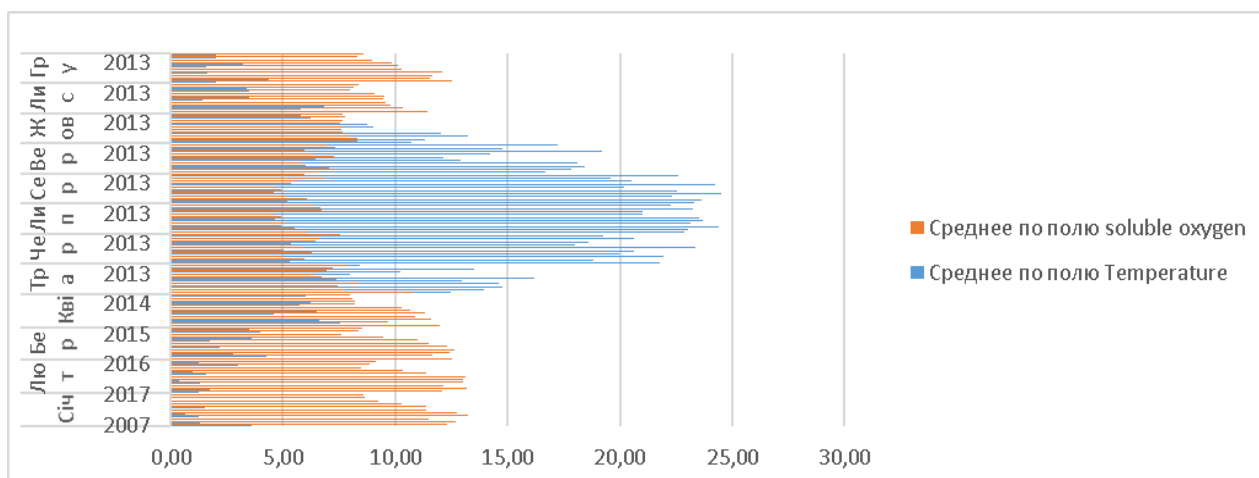


Рисунок Г.53 - Діаграма розподілу сукупностей показника розчинний кисень від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

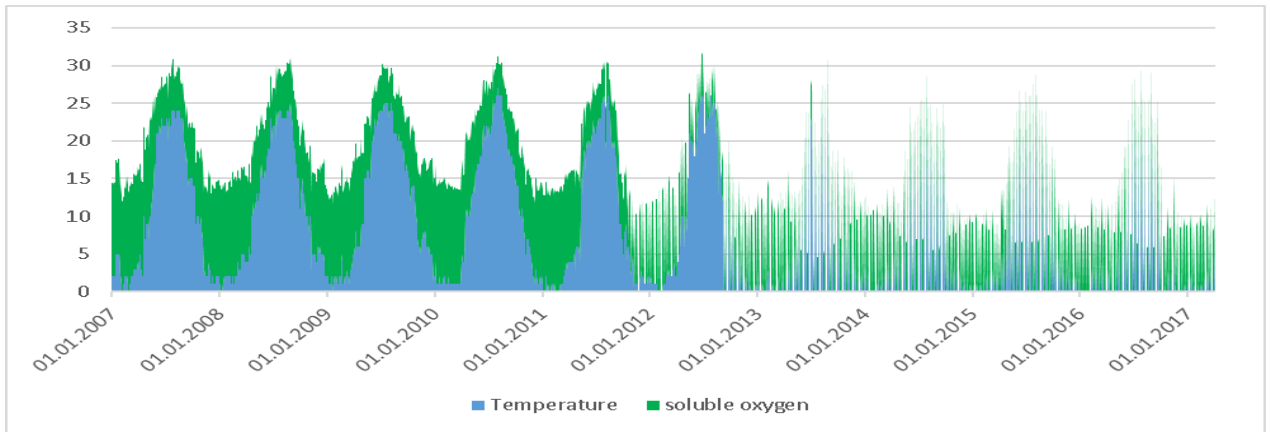


Рисунок Г.54 - Комплексний графік залежності розподілу показника розчинний кисень від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

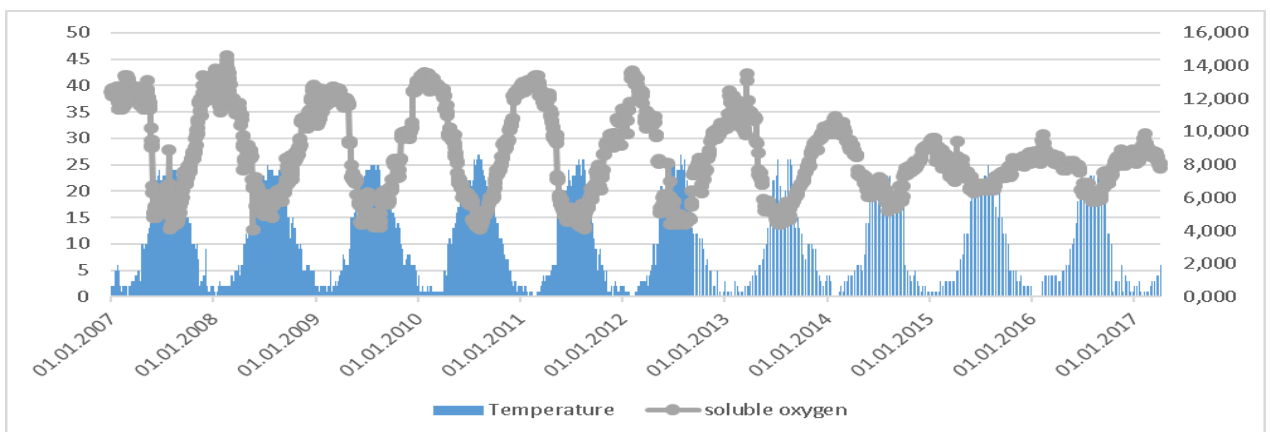


Рисунок Г.55 - Комплексний графік залежності розподілу показника розчинний кисень від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.15 Порівняльний аналіз БСК₅ та температури води:

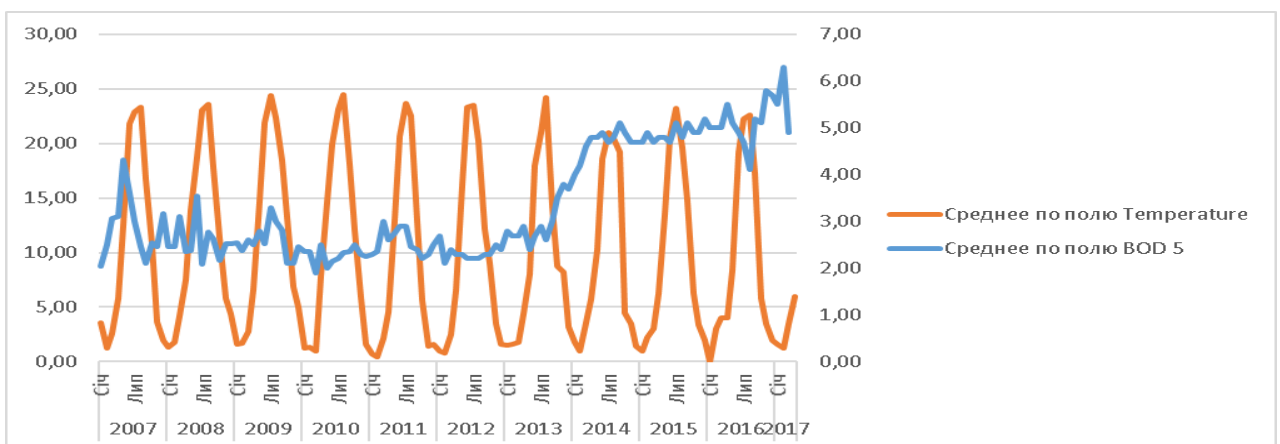


Рисунок Г.56 - Графік залежності розподілу показника БСК₅ від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

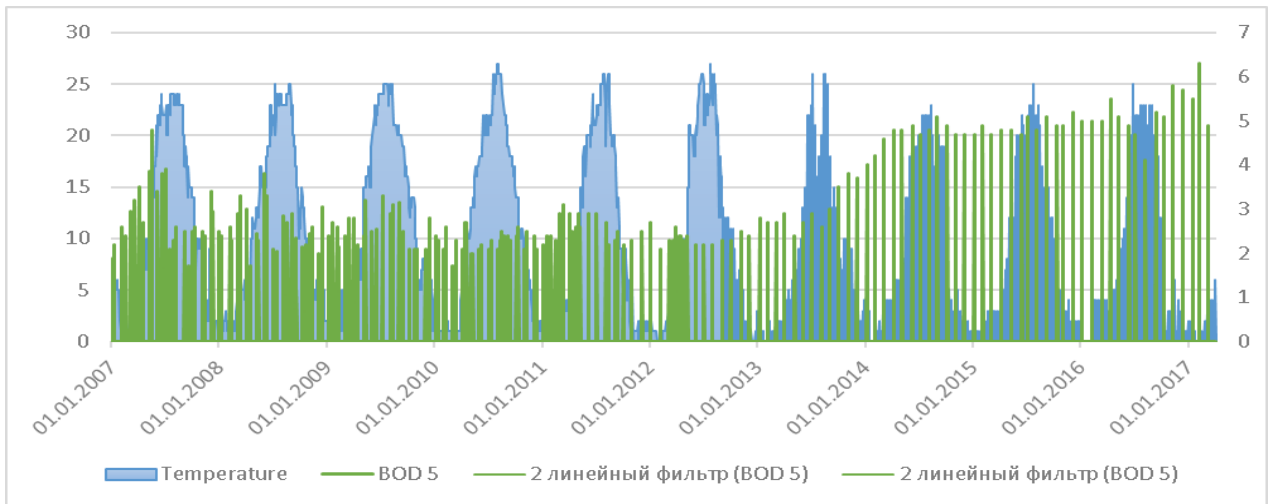


Рисунок Г.57 - Комплексний графік залежності розподілу показника БСК₅ від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.16 Порівняльний аналіз БСК_{повн} та температури води:

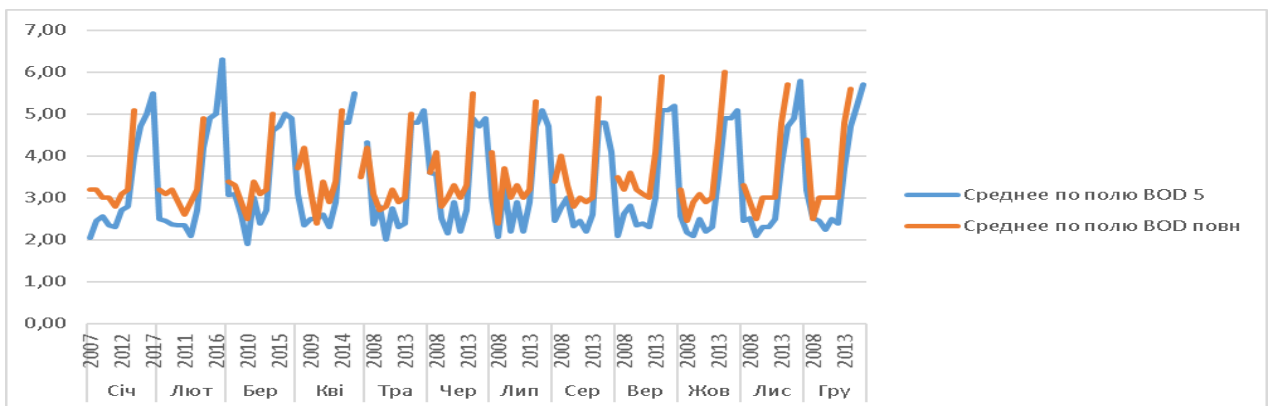


Рисунок Г.58 - Графік залежності розподілу показника БСК_{повн} від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

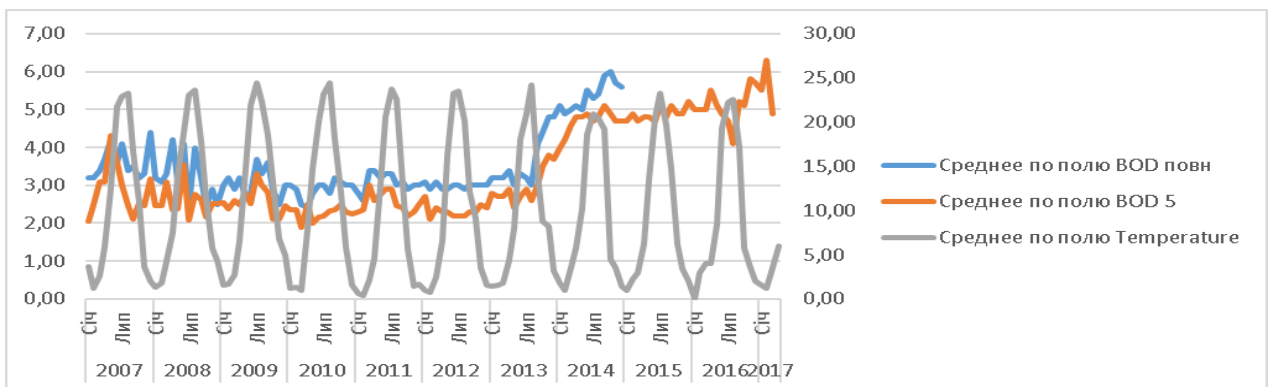


Рисунок Г.59 - Графік залежності розподілу показників БСК₅ та БСК_{повн} від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

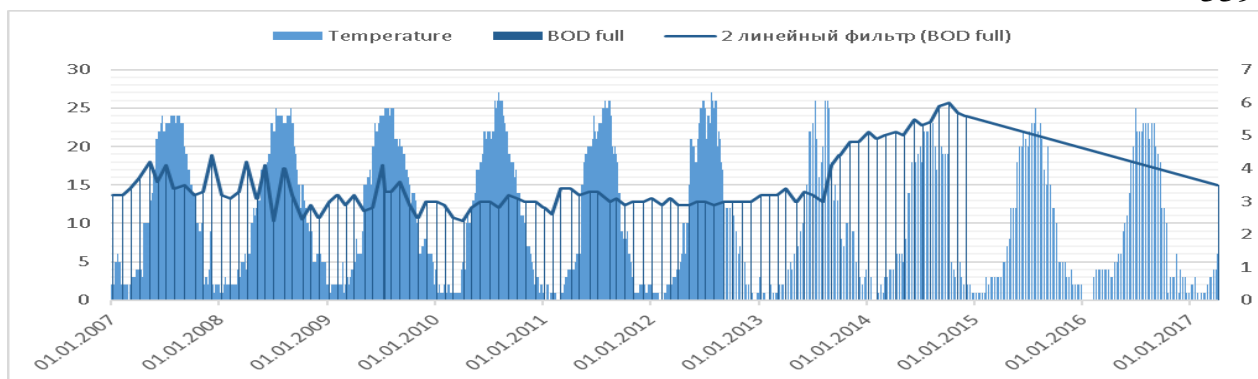


Рисунок Г.60 - Комплексний графік залежності розподілу показника БСКповн від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.17 Порівняльний аналіз сухого залишку та температури води:

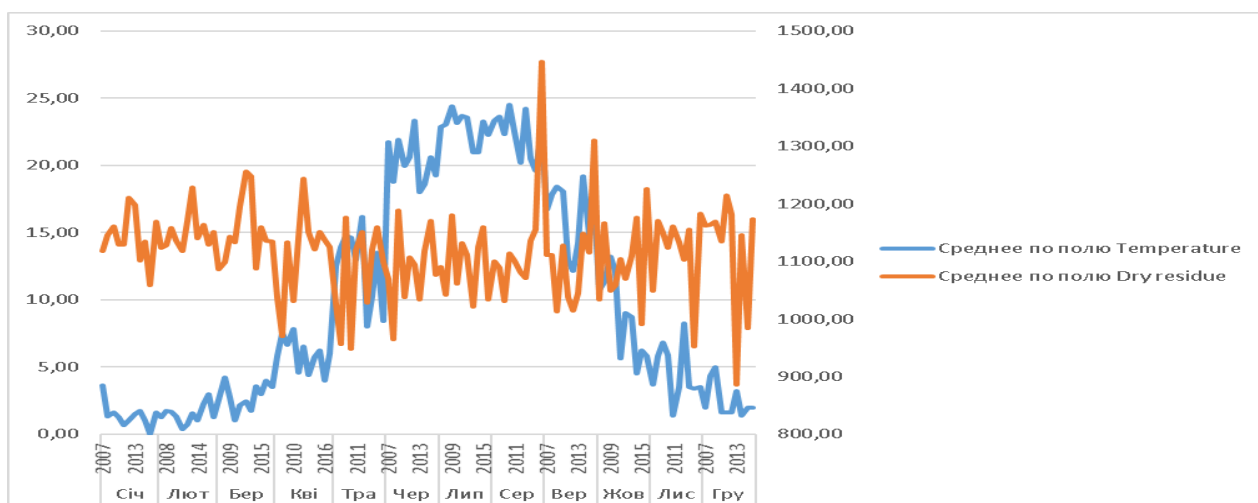


Рисунок Г.61 - Графік залежності розподілу показника сухого залишку від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

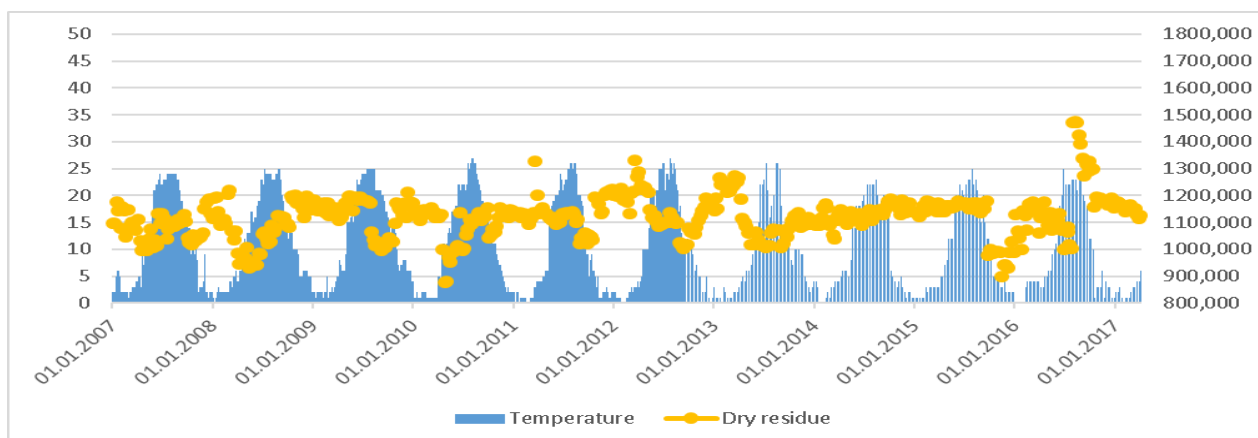


Рисунок Г.62 - Діаграма розподілу сукупностей показника сухого залишку від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

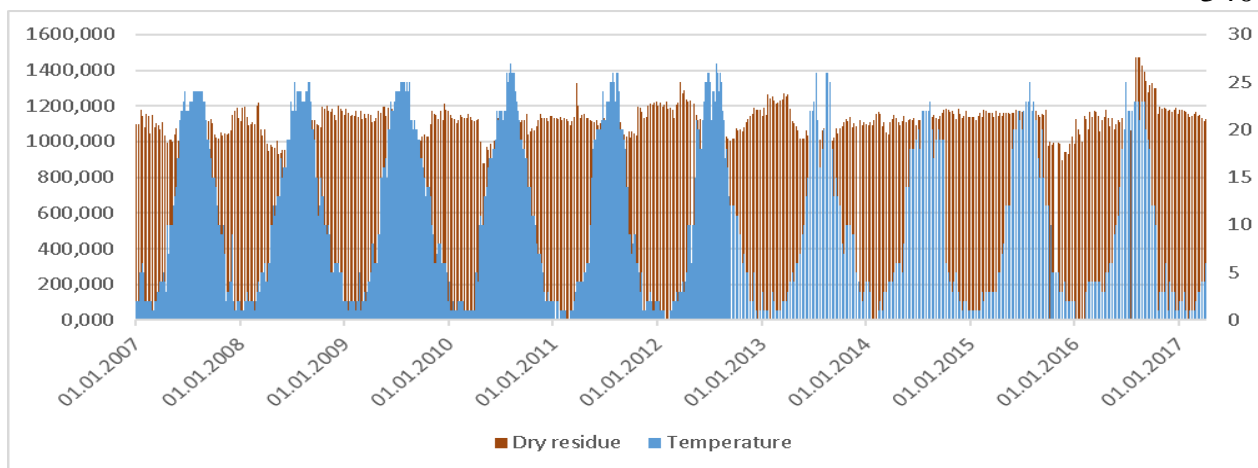


Рисунок Г.63 - Комплексний графік залежності розподілу показника сухого залишку від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.18 Порівняльний аналіз жорсткість та температури води:

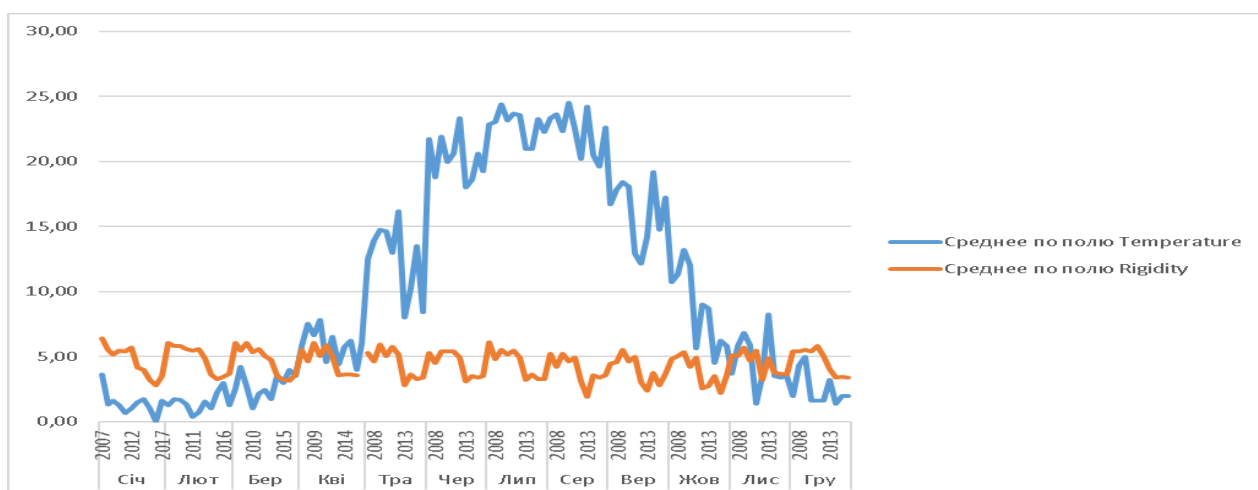


Рисунок Г.64 - Графік залежності розподілу показника жорсткість від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

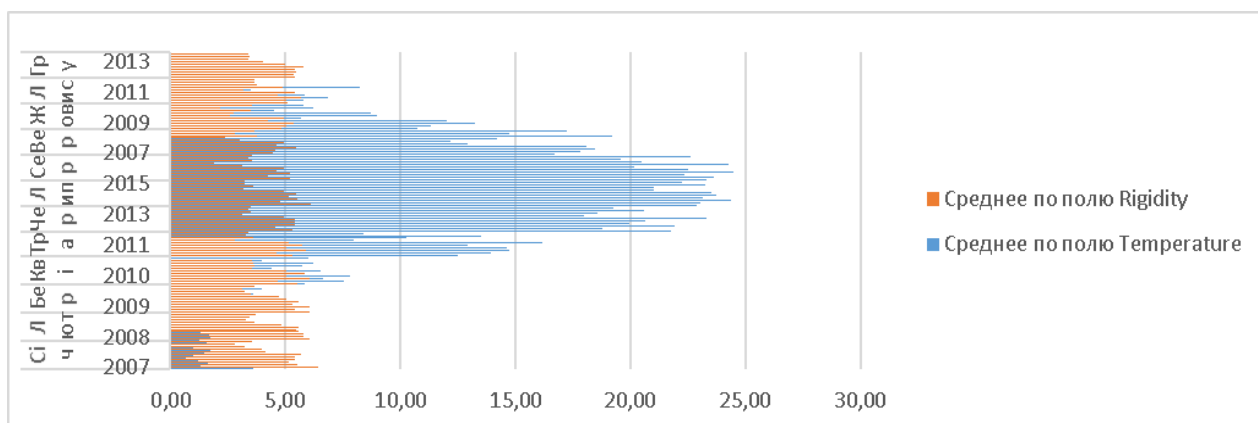


Рисунок Г.65 - Діаграма розподілу сукупностей показника жорсткість від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

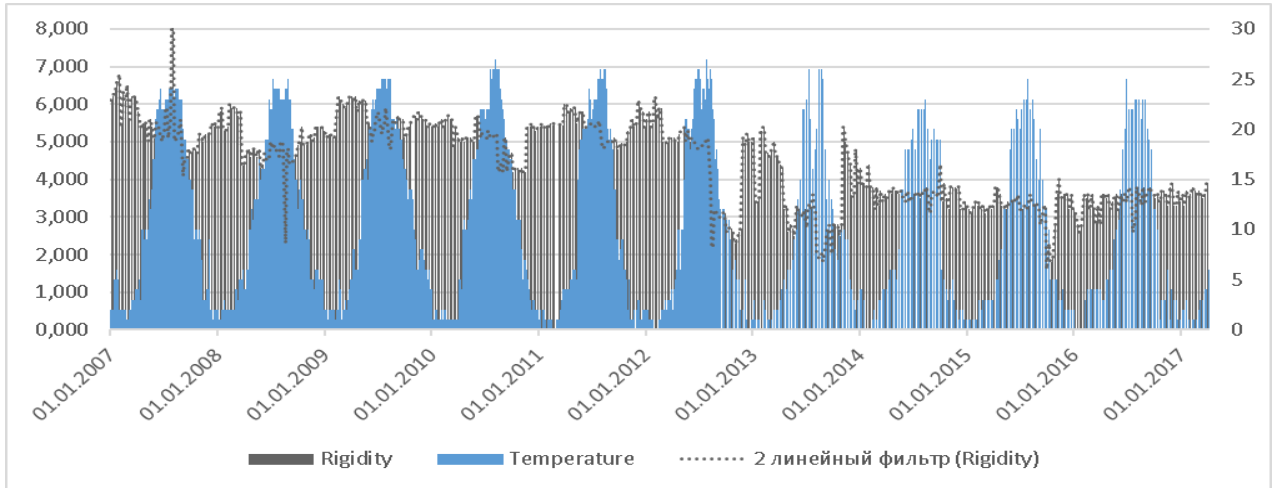


Рисунок Г.66 - Комплексний графік залежності розподілу показника жорсткість від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

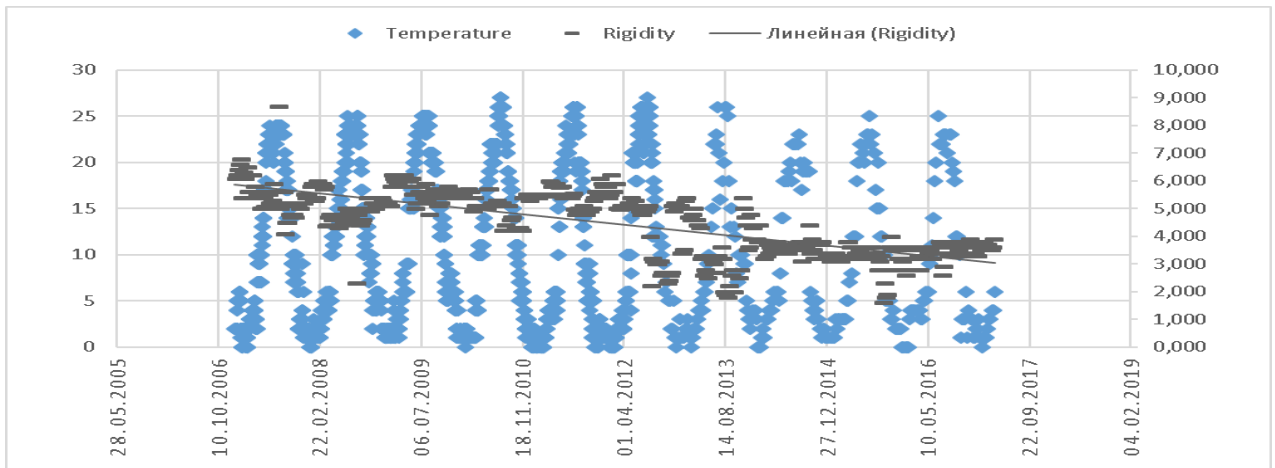


Рисунок Г.67 - Комплексний графік залежності розподілу показника жорсткість від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.19 Порівняльний аналіз фосфати та температури води:

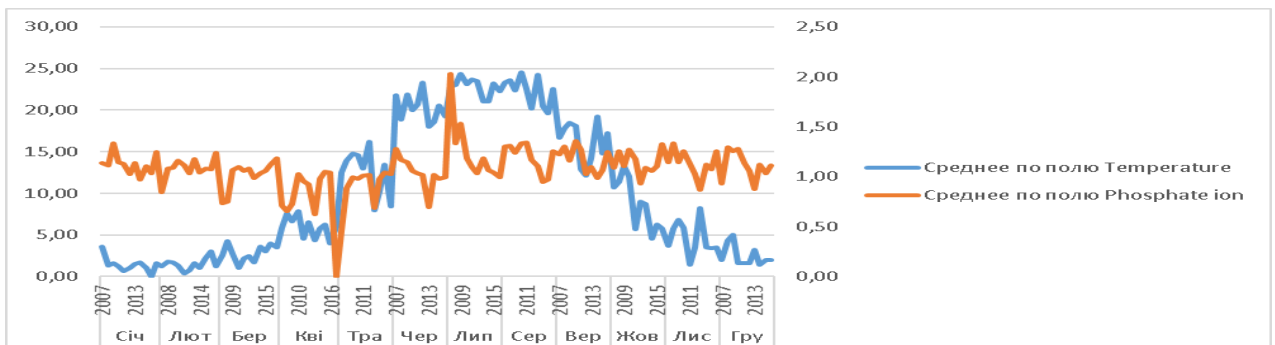


Рисунок Г.68 - Графік залежності розподілу показника фосфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

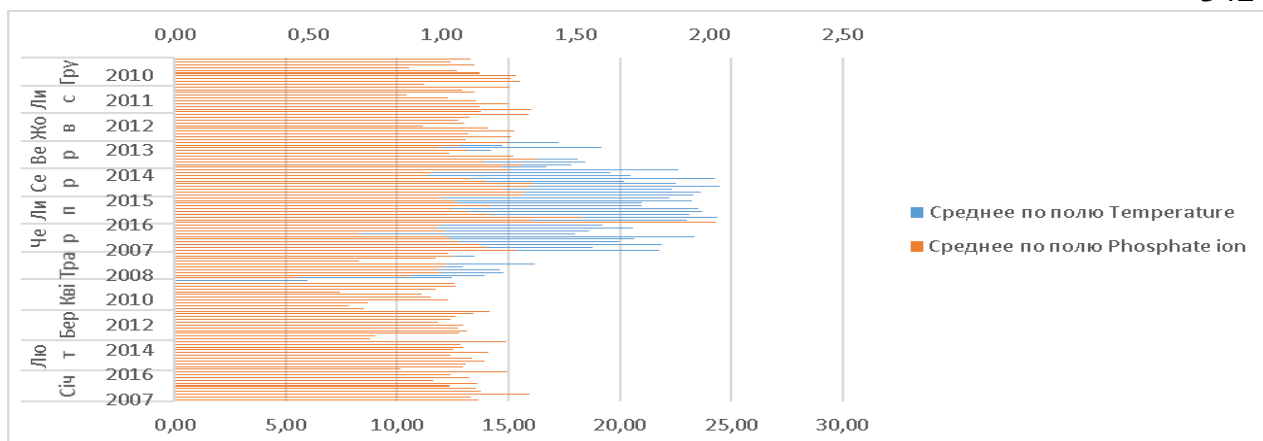


Рисунок Г.69 - Діаграма розподілу сукупностей показника фосфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

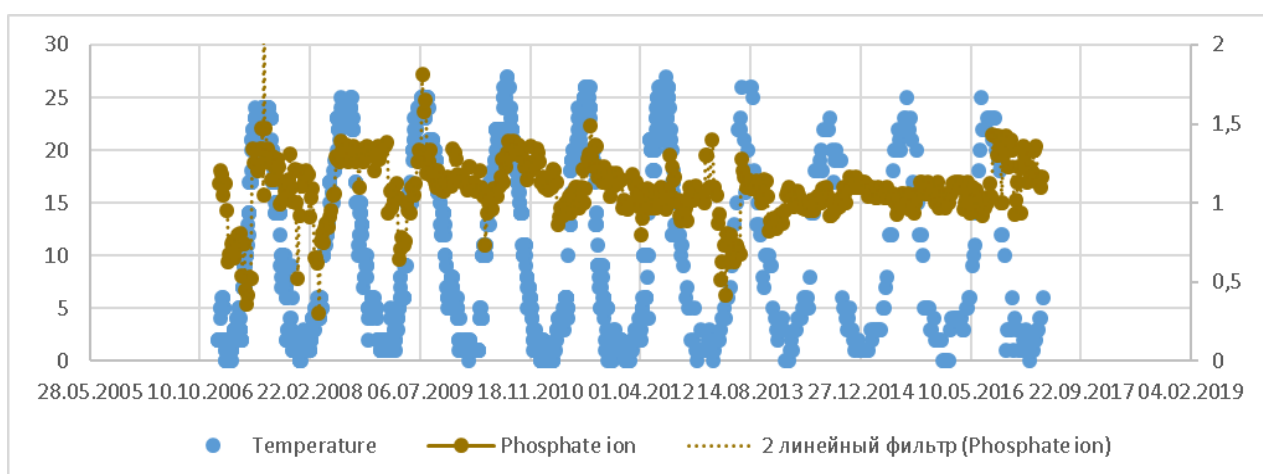


Рисунок Г.70 - Комплексний графік залежності розподілу показника фосфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

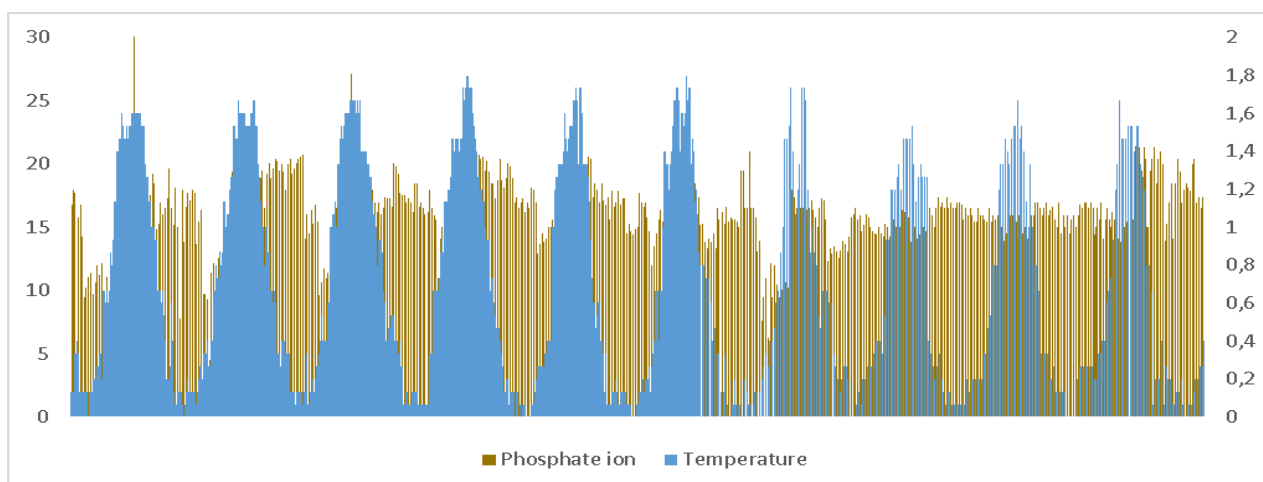


Рисунок Г.71 - Комплексний графік залежності розподілу показника фосфати від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

Г.20 Порівняльний аналіз аПАР та температури води:

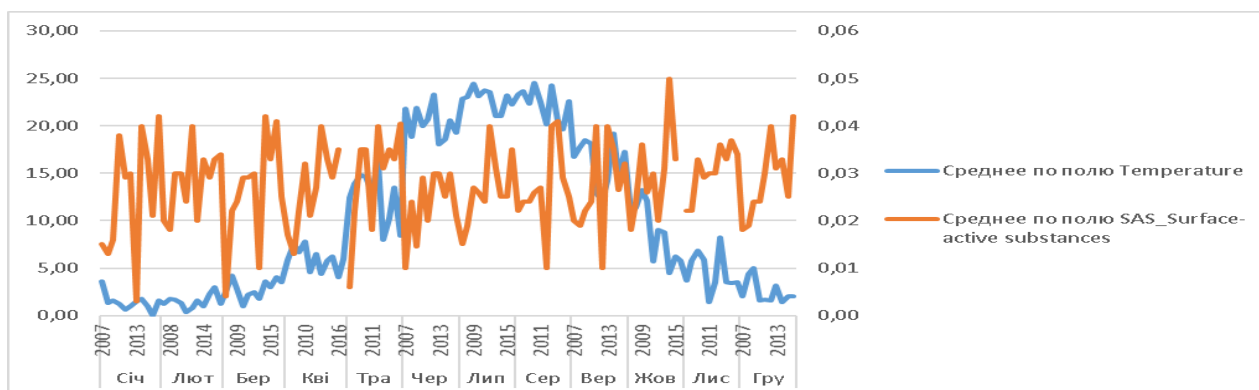


Рисунок Г.72 - Графік залежності розподілу показника аПАР від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за місяцями

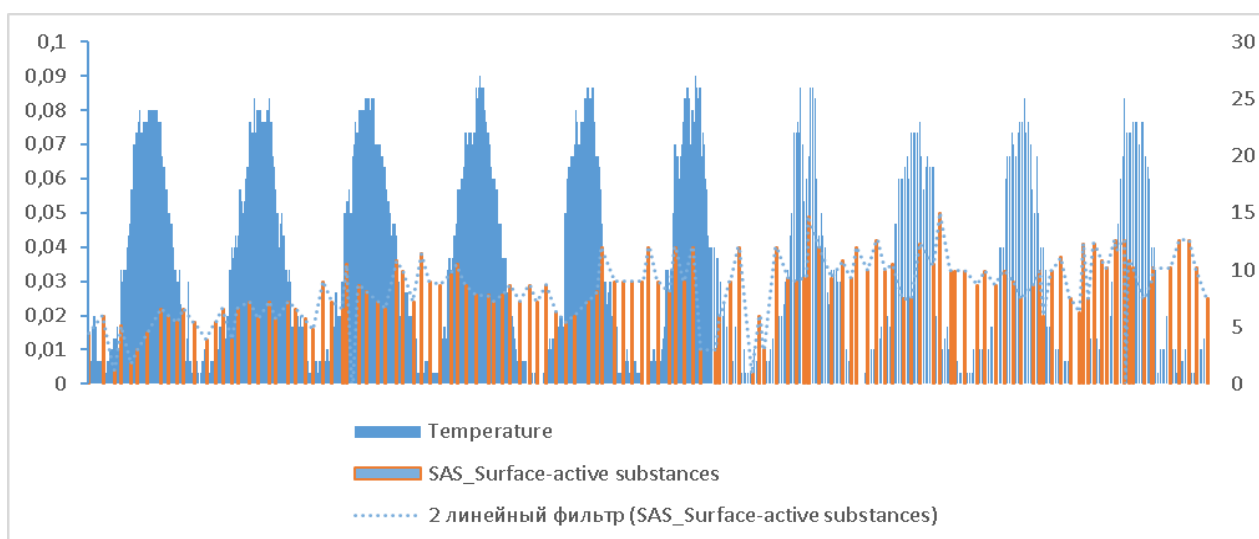


Рисунок Г.73 - Комплексний графік залежності розподілу показника аПАР від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

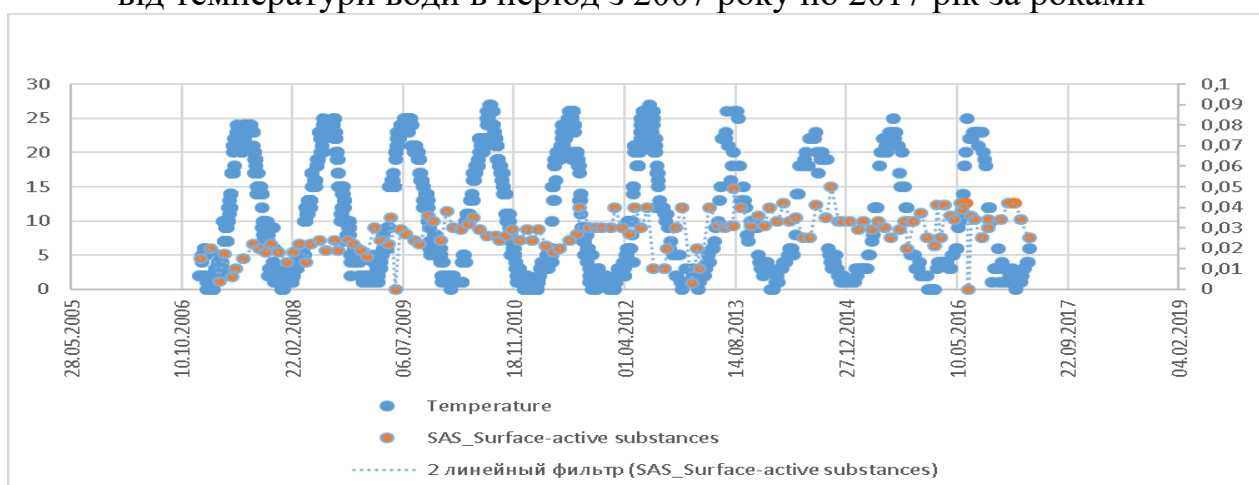


Рисунок Г.74 - Комплексний графік залежності розподілу показника аПАР від температури води в період з 2007 року по 2017 рік за роками

ДОДАТОК Г

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ДАНИХ, ЗІБРАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ
ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ

Г.1 Перевірка сезонності з допомогою діаграми «ящик з вусами»

Таблиця Г.1 - Перевірка сезонності з допомогою діаграми «ящик з вусами»
показника якості - рН

Variable	Count	Mean	Minimum	Lower whisker	Q1	Median	Q3	Upper whisker	Maximum
Var1	13	7,9846	7,7739	7,7739	7,8806	7,9400	8,0226	8,1129	8,3133
Var2	13	7,9232	7,8364	7,8364	7,8793	7,9190	7,9619	8,0364	8,0364
Var3	13	7,8593	7,7478	7,7478	7,8091	7,8364	7,8864	7,9091	8,1273
Var4	13	7,7571	7,7043	7,7043	7,7476	7,7563	7,7810	7,8200	7,8200
Var5	13	7,7960	7,7000	7,7000	7,7217	7,8143	7,8500	7,8909	7,8909
Var6	13	7,9260	7,8217	7,8217	7,8955	7,9238	7,9522	8,0091	8,0571
Var7	13	8,0387	7,9522	7,9522	8,0174	8,0318	8,0667	8,0750	8,1773
Var8	13	8,0255	7,9609	7,9609	8,0130	8,0257	8,0500	8,0826	8,0826
Var9	13	8,0033	7,9154	7,9154	7,9571	8,0042	8,0308	8,1400	8,1400
Var10	13	8,0074	7,9385	7,9769	8,0000	8,0154	8,0214	8,0308	8,0857
Var11	5	7,9581	7,9214	7,9488	7,9488	7,9538	7,9667	7,9667	8,0000

В табл. Г.1 надані результати перевірки сезонності показника рН, перемінні відповідають вар1-вар-11 відповідають рокам 2007-2017 р. відповідно.

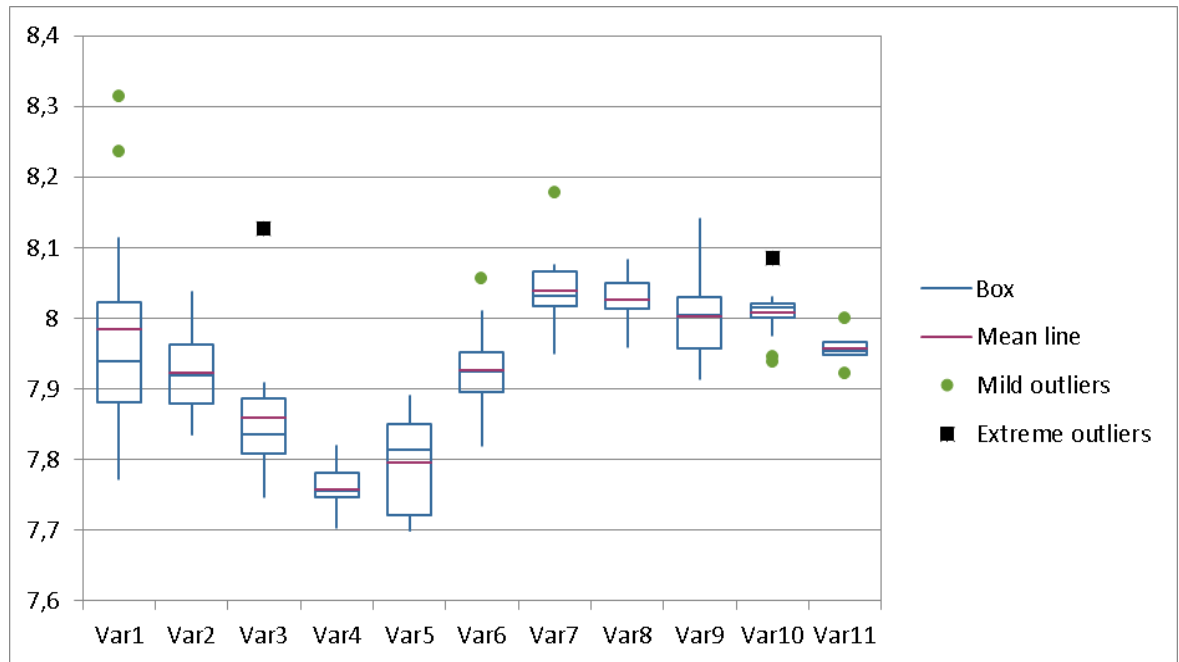


Рисунок Г.1 - Діаграма «ящик з вусами» показника якості - рН

Таблиця Г.2 - Перевірка сезонності з допомогою діаграми «ящик з вусами»

показника якості - розчинний кисень

Variable	Count	Mean	Minimum	Lower whisker	Q1	Median	Q3	Upper whisker	Maximum
Var1	13	9,6023	5,2032	5,2032	6,6033	10,8452	12,1036	12,5387	12,5387
Var2	13	9,1585	5,4978	5,4978	7,0545	9,3564	11,5609	13,1862	13,1862
Var3	13	8,7883	4,9257	4,9257	6,0182	8,7753	11,6136	12,4273	12,4273
Var4	13	9,0963	4,5909	4,5909	6,2641	9,0847	12,0613	13,2095	13,2095
Var5	13	8,7532	4,6710	4,6710	6,4305	8,6481	11,3143	12,9970	12,9970
Var6	13	8,6057	4,6538	4,6538	6,7357	8,5787	10,6462	13,0992	13,0992
Var7	13	8,2126	4,6573	4,6573	6,2923	8,2007	10,3071	11,4000	11,4000
Var8	13	7,8744	5,5750	5,5750	6,7429	7,8749	8,9467	10,3250	10,3250
Var9	13	7,7058	6,6538	6,6538	7,2000	7,6865	8,2083	9,2250	9,2250
Var10	13	7,7900	5,9667	6,4583	7,5308	7,9714	8,3857	8,8692	8,8692
Var11	5	8,5808	8,0000	8,5231	8,5231	8,5714	8,6762	8,6762	9,1333

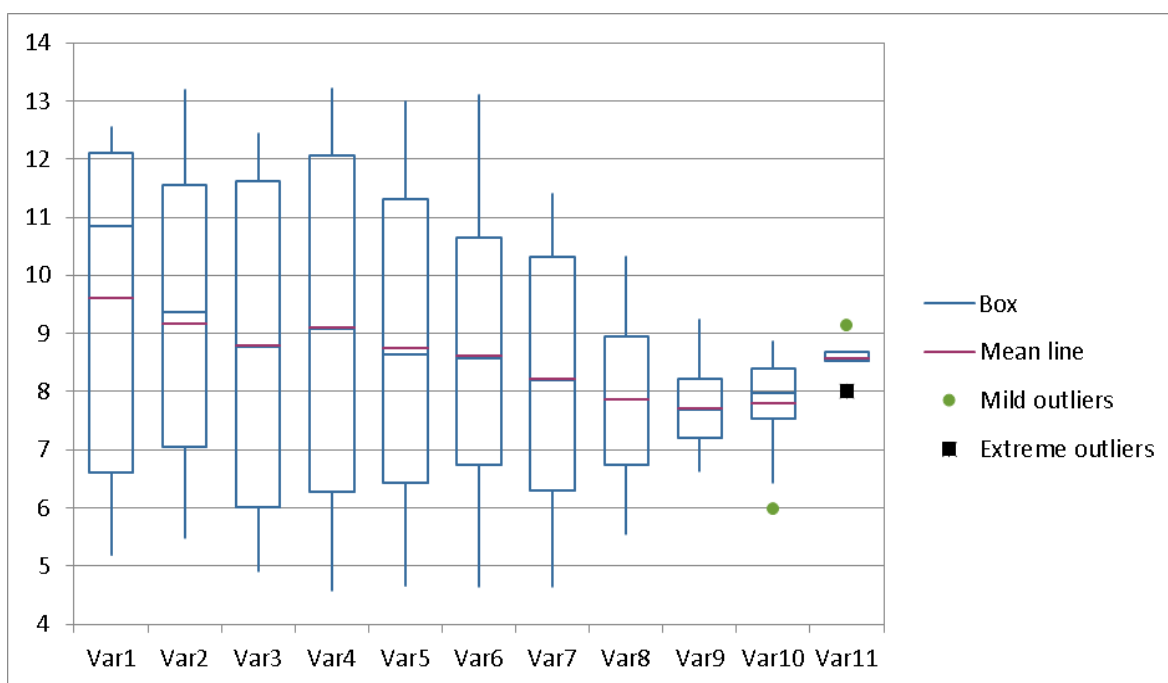


Рисунок Г.2 - Діаграма «ящик з вусами» показника якості - розчинний кисень

Таблиця Г.3 - Перевірка сезонності з допомогою діаграми «ящик з вусами»

показника якості - сухий залишок (мінералізація)

Variable	Count	Mean	Minimum	Lower whisker	Q1	Median	Q3	Upper whisker	Maximum
Var1	12,00	1080,96	1025,00	1025,00	1045,69	1084,36	1102,94	1162,00	1162,00
Var2	12,00	1078,77	957,25	957,25	1024,35	1093,88	1136,39	1170,00	1170,00
Var3	12,00	1126,82	1013,60	1031,50	1109,44	1146,60	1171,29	1188,80	1188,80
Var4	12,00	1082,87	948,75	948,75	1053,88	1101,22	1128,69	1135,50	1135,50
Var5	12,00	1130,23	1037,50	1101,40	1106,63	1124,19	1146,81	1195,50	1215,25
Var6	12,00	1137,52	1014,00	1014,00	1091,63	1137,71	1172,81	1256,75	1256,75
Var7	12,00	1084,61	885,61	1021,40	1032,94	1081,07	1120,01	1247,25	1247,25
Var8	12,00	1133,87	1087,40	1087,40	1121,25	1133,85	1146,55	1175,50	1175,50
Var9	12,00	1106,22	952,20	984,25	1080,87	1153,48	1160,00	1170,60	1170,60
Var10	12,00	1176,80	1034,20	1034,20	1121,48	1153,84	1193,48	1226,40	1446,80
Var11	4,00	1140,49	1125,00	1125,00	1132,31	1142,88	1151,05	1151,21	1151,21

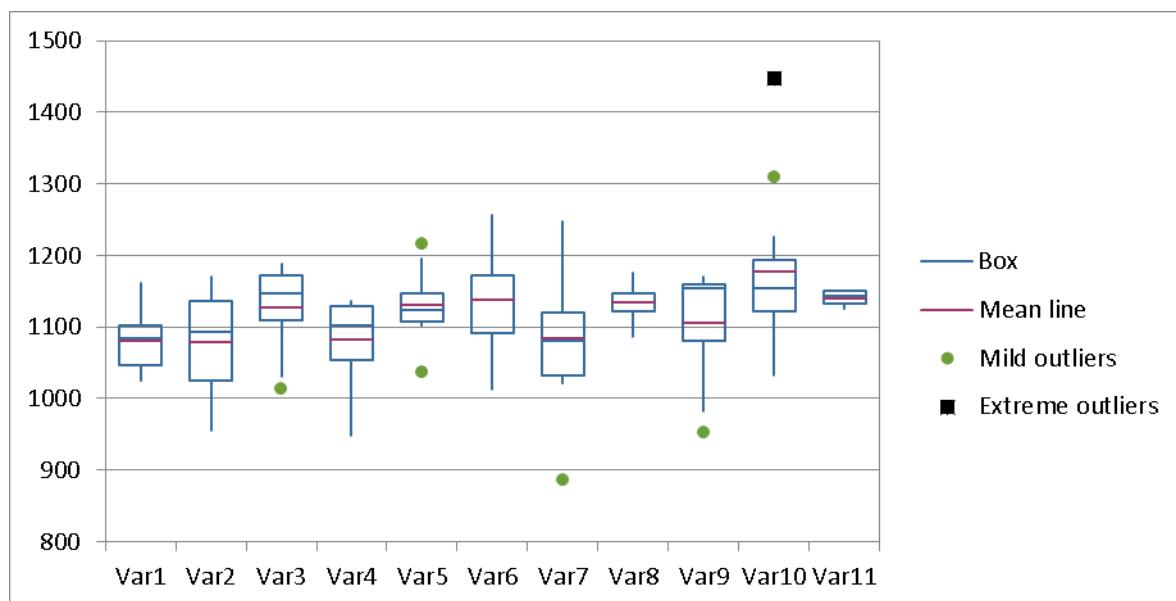


Рисунок Г.3 - Діаграма «ящик з вусами» показника якості - сухий залишок (мінералізація)

Г.2 Відображення календарної сезонності з допомогою функцій автокореляції

Визначаємо календарну сезонність маркерних показників якості води з допомогою функцій автокореляції (див. таблиці 5.4-5.6) з прийнятим довірчим інтервалом 95% (в межах нормально розподілених величин). Тим самим визначимо зв'язок та сумісне узгодження змін маркерного показника якості води від року в рік. Для визначення кореляційного аналізу двох змінних:

Г.2.1 Аналіз кореляції для температури води

Таблиця Г.4 - Витяг автокореляційної функції для показника якості - температури води на інтервалі 12 місяців

Autocorrelation							
<i>Overall mean</i>		2 011,6774					
<i>Variance</i>		8,9282					
<i>Partial R Standard Error</i>		0,0898					
Lag	Correlation	LCL	UCL	Standard Error	Partial R	Box-Ljung Q	
1	0,4944	0,4585	0,5286	0,0898	0,4944	31,0450	
2	0,0926	0,0465	0,1383	0,1096	-0,2009	32,1434	
3	-0,2044	-0,2483	0,1595	0,1102	-0,2207	37,5361	
4	-0,3957	-0,4340	0,3559	0,1132	-0,2433	57,9181	
5	-0,4804	-0,5152	0,4439	0,1239	-0,2676	88,2143	

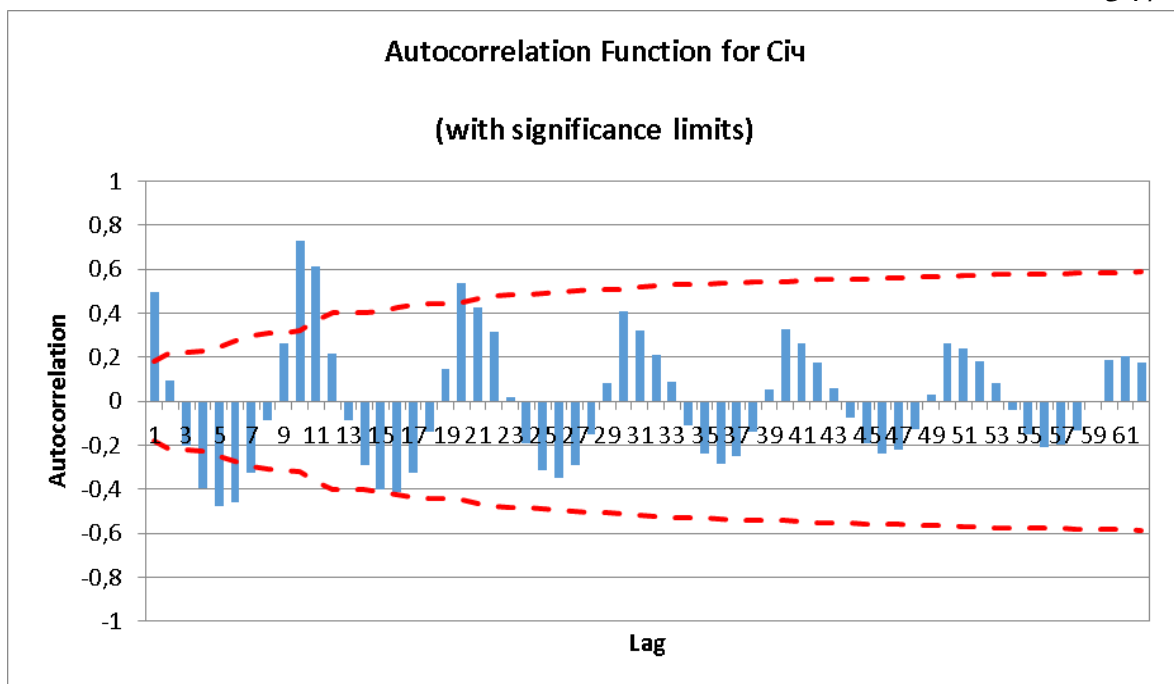


Рисунок Г.4 - Функція автокореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - температури води на інтервалі 12 місяців

Для виключення помилкової кореляції, яка може бути обумовлена великою кількістю значень вибірки, розглянемо часткову кореляцію.

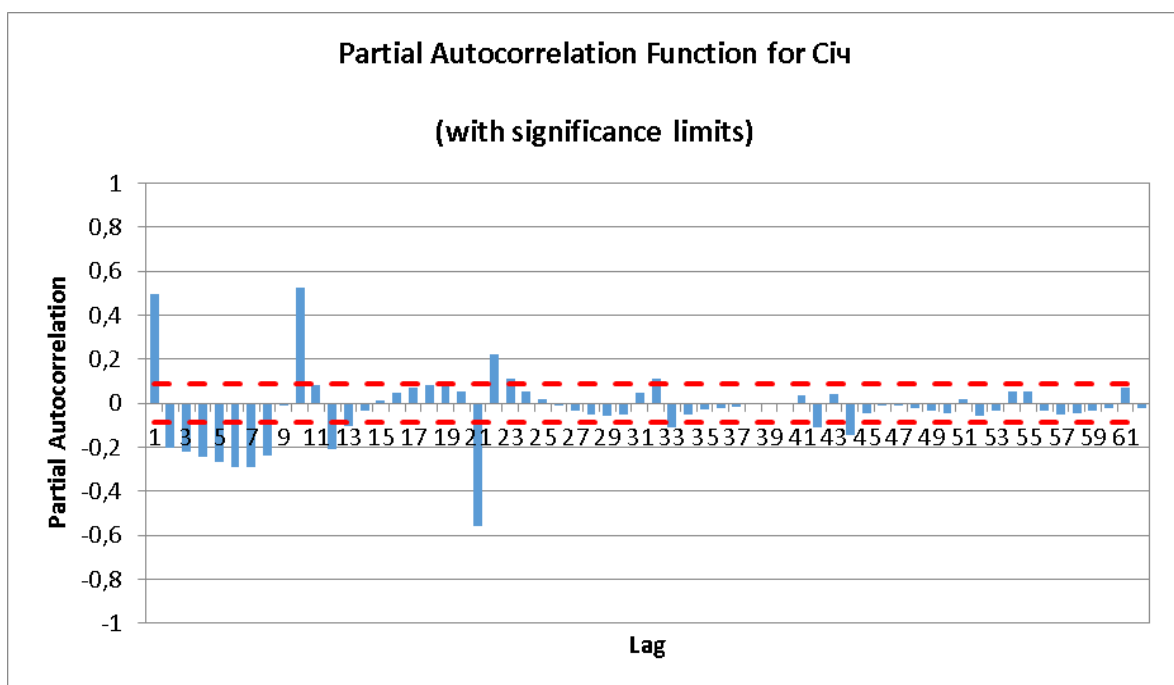


Рисунок Г.5 - Функція часткової кореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - температури води на інтервалі 12 місяців

Г.2.2 Аналіз кореляції для рН

Таблиця Г.5 - Автокореляційна функція для показника якості - рН на інтервалі 1293 значень

Autocorrelation

Overall mean	7,9285					
Variance	0,0223					
Partial R Standard Error	0,0197					
Lag	Correlation	LCL	UCL	Standard Error	Partial R	Box-Ljung Q
1	0,7500	0,7456	0,7544	0,0197	0,7500	1 450,7954
2	0,6987	0,6935	0,7038	0,0287	0,3113	2 710,3238
3	0,6706	0,6650	0,6761	0,0347	0,1929	3 870,9398
4	0,6678	0,6622	0,6734	0,0394	0,1819	5 022,5667
5	0,6449	0,6390	0,6508	0,0436	0,0930	6 096,9711
6	0,6402	0,6342	0,6461	0,0471	0,1046	7 155,9605
7	0,6394	0,6334	0,6453	0,0504	0,1025	8 212,6673
8	0,6385	0,6325	0,6444	0,0535	0,0896	9 266,8146
9	0,6260	0,6198	0,6320	0,0563	0,0512	10 280,4994
10	0,6199	0,6137	0,6261	0,0590	0,0511	11 275,0446
11	0,6077	0,6013	0,6140	0,0615	0,0261	12 231,0311
12	0,6035	0,5970	0,6098	0,0637	0,0371	13 174,2275
13	0,5833	0,5766	0,5899	0,0659	-0,0079	14 055,8591
14	0,5696	0,5627	0,5763	0,0679	-0,0078	14 896,7500

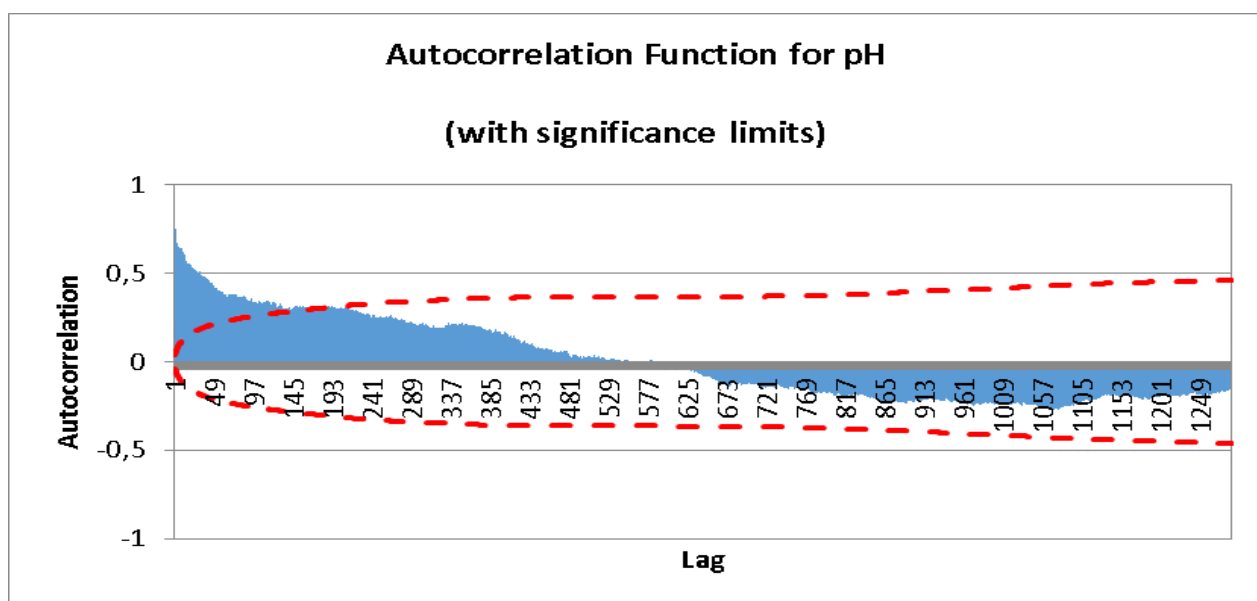


Рисунок Г.6 - Функція часткової кореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - рН на інтервалі 1293 значень

Для виключення помилкової кореляції, яка може бути обумовлена великою кількістю значень вибірки, розглянемо часткову кореляцію.

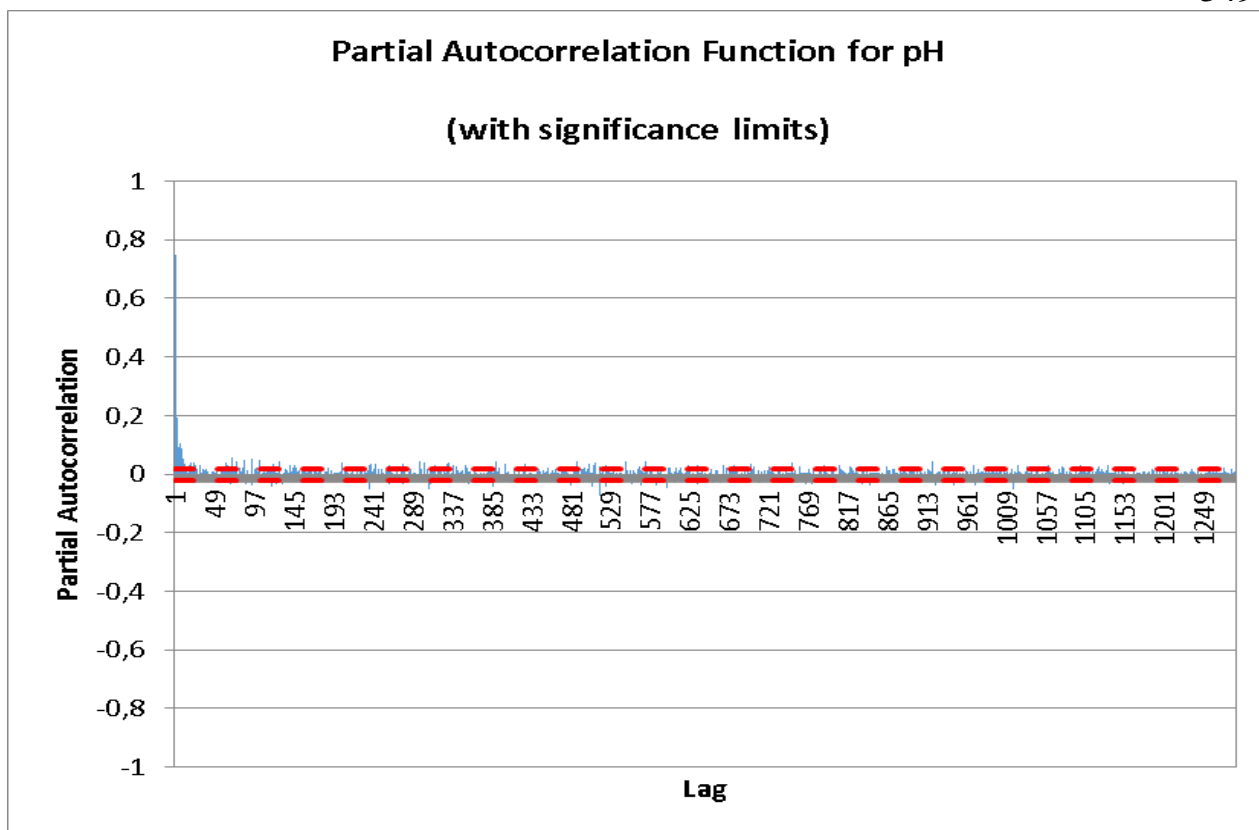


Рисунок Г.7 - Функція часткової кореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - рН на інтервалі 1293 значень

Г.2.3 Аналіз кореляції для розчинного кисню

Таблиця Г.6 - Автокореляційна функція для показника якості - розчинний кисень на інтервалі 1114 значень

Autocorrelation

Overall mean	8,7388
Variance	7,4782
Partial R Standard Error	0,0212

Lag	Correlation	LCL	UCL	Standard Error	Partial R	Box-Ljung Q
1	0,9890	0,9887	0,9892	0,0212	0,9890	2 182,0934
2	0,9813	0,9809	0,9817	0,0364	0,1453	4 331,2438
3	0,9741	0,9735	0,9746	0,0468	0,0438	6 450,0026
4	0,9664	0,9657	0,9671	0,0552	-0,0154	8 536,4489
5	0,9584	0,9576	0,9593	0,0623	-0,0218	10 589,5614
6	0,9499	0,9489	0,9510	0,0686	-0,0362	12 607,2434
7	0,9418	0,9406	0,9430	0,0743	0,0047	14 591,4829
8	0,9326	0,9312	0,9340	0,0794	-0,0512	16 538,0710
9	0,9228	0,9212	0,9244	0,0842	-0,0449	18 444,9297
10	0,9121	0,9102	0,9139	0,0886	-0,0654	20 308,3819
11	0,9013	0,8992	0,9033	0,0928	-0,0237	22 128,8423
12	0,8899	0,8876	0,8921	0,0966	-0,0404	23 904,2440

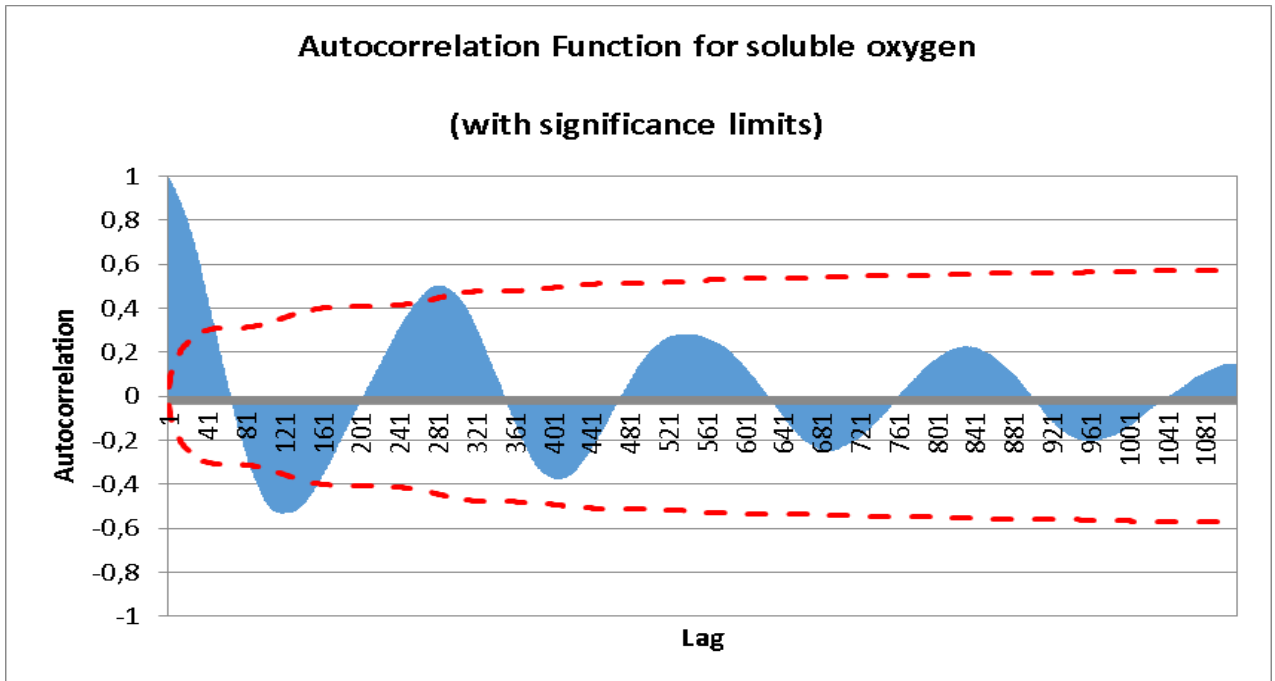


Рисунок Г.8 - Функція автокореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - розчинний кисень на інтервалі 365 значень

Для виключення помилкової кореляції, яка може бути обумовлена великою кількістю значень вибірки, розглянемо часткову кореляцію.

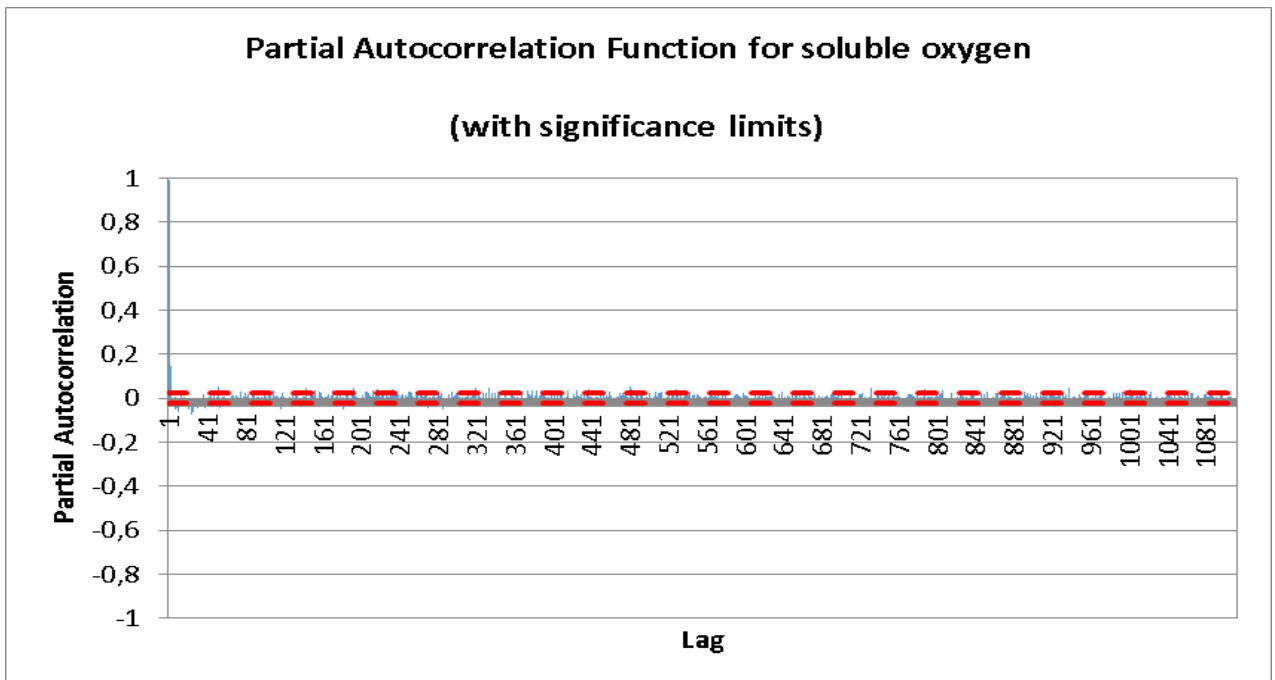


Рисунок Г.9 - Функція часткової кореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - розчинний кисень на інтервалі 365 значень

Г.2.2 Аналіз кореляції для сухого залишку (мінералізації)

Таблиця Г.7 - Автокореляційна функція для показника якості - сухий залишок (мінералізація) на інтервалі 536 значень

Autocorrelation						
Overall mean	1 117,0896					
Variance	8 473,6142					
Partial R Standard Error	0,0432					
Lag	Correlation	LCL	UCL	Standard Error	Partial R	Box-Ljung Q
1	0,6199	0,6061	0,6333	0,0432	0,6199	207,1315
2	0,5434	0,5277	0,5588	0,0574	0,2584	366,5913
3	0,4791	0,4619	0,4959	0,0663	0,1202	490,7617
4	0,4150	0,3965	0,4331	0,0725	0,0436	584,1004
5	0,3631	0,3438	0,3821	0,0768	0,0215	655,7103
6	0,3046	0,2844	0,3245	0,0800	-0,0129	706,1800
7	0,2694	0,2488	0,2897	0,0821	0,0096	745,7346
8	0,2215	0,2004	0,2424	0,0837	-0,0183	772,5417
9	0,1784	0,1570	0,1997	0,0848	-0,0234	789,9611
10	0,1329	0,1111	0,1545	0,0855	-0,0352	799,6418
11	0,0816	0,0596	0,1035	0,0859	-0,0516	803,3015
12	0,0714	0,0494	0,0933	0,0860	0,0138	806,1074

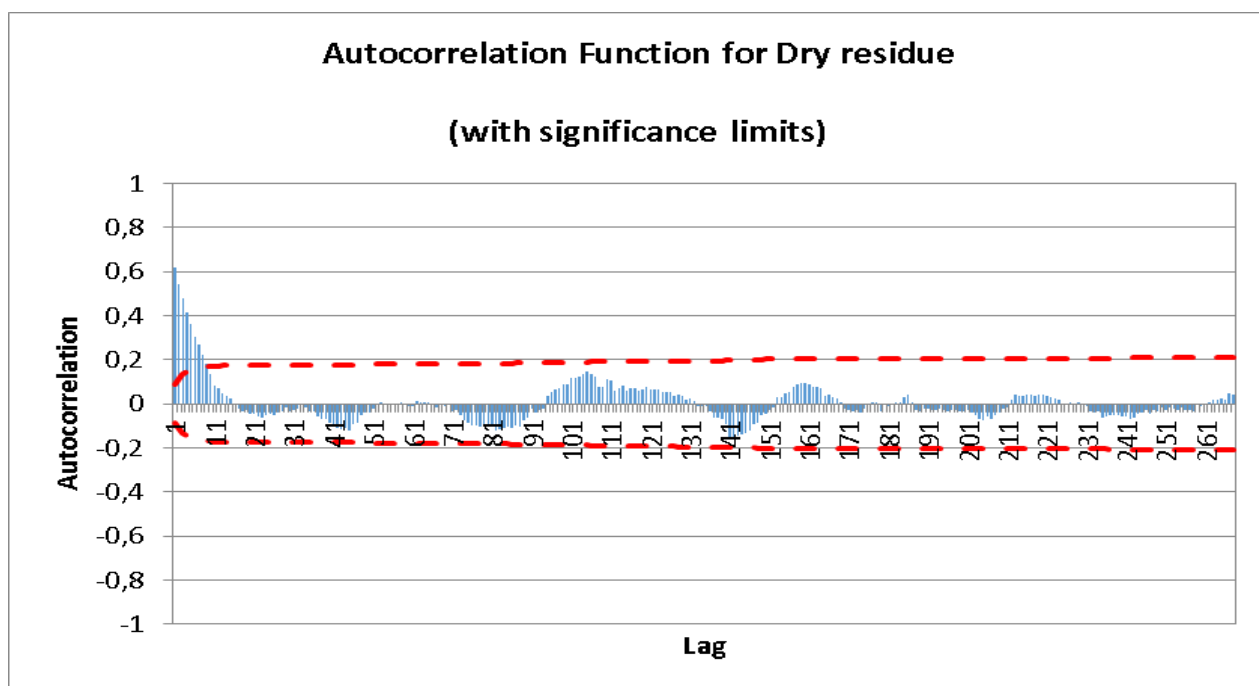


Рисунок Г.10 - Функція автокореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - сухий залишок (мінералізація) на інтервалі 536 значень

Для виключення помилкової кореляції, яка може бути обумовлена великою кількістю значень вибірки, розглянемо часткову кореляцію.

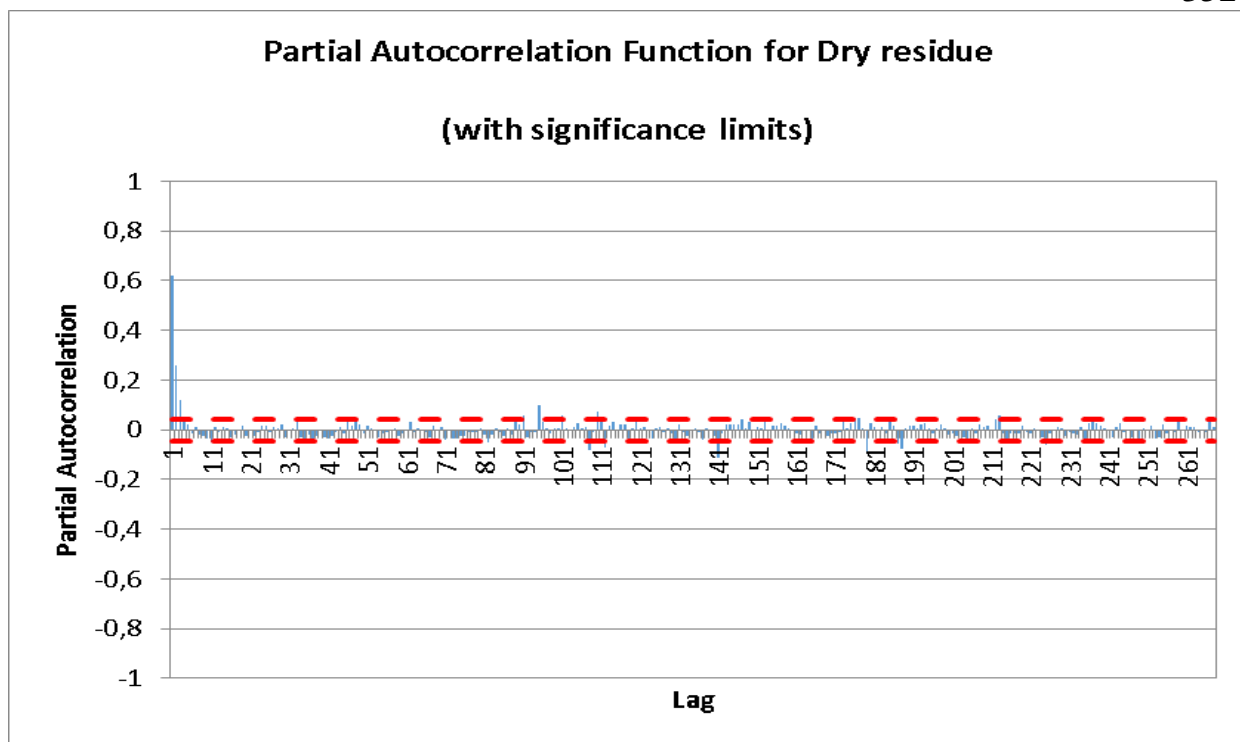


Рисунок Г.11 - Функція часткової кореляції (з обмеженням значущості) для показника якості - сухий залишок (мінералізація) на інтервалі 536 значень

У визначених для дослідження маркерних показників спостерігається лінійна форма кореляційного зв'язку між варійованими показниками значень, з встановленими прямими й зворотними напрямками (т.к. отримані позитивні й негативні значення).

«Достатньо сильний» ймовірний зв'язок значень після проведення розрахунків коефіцієнтів кореляції в діапазоні від -1 до +1 та критеріїв відбору кореляцій (0,7-1,0) за рівнем статистичної значущості (від 0,1 до 0,1) визначений у показників - розчинний кисень та рН, а от показник сухого залишку (мінералізації) показав слабку кореляцію даних.

Для подальшого визначення ступеню (сили/ тісноти) взаємозв'язку між двома ознаками відносно один одного була визначена часткова кореляція, яка не враховує вплив третьої змінної (фактору). Отримані результати показника часткової кореляції мають значення менші простої автокореляції, але більші 0, тобто впливаючий третій фактор частково пояснює кореляцію між двома змінними.

Також за результатами кореляційного аналізу цих показників періодично спостерігаються викиди за межі значущості, що може свідчити про наявні додаткові впливи, що не пов'язані з сезонним зв'язком значень, а мають аномальні чи випадкові чинники.

В даному випадку встановлення ознаки сезонної кореляції показників розчинного кисню та рН, ще не визначають остаточно причинно - наслідкові відношення (відношення послідовності між причиною і наслідками), а просто визначають, що дві змінні пов'язані

між собою в більшому ступені, ніж це можливо очікувати при випадковому збігу. Тобто поки не стверджується остаточно, що змінна сезону є причиною змін досліджуваного параметру.

Г.3 Корегування даних з урахуванням сезонності

З попереднього аналізу виявлена суттєва залежність від сезону показників рН і розчинного кисню, то необхідно відкоригувати значення з врахуванням сезонних коливань. За таким корегуванням можна визначити причини змін показників - від сезонних коливань чи антропогенних чинників. До того ж корегування даних з врахуванням сезонності дозволить виявити можливі скриті тенденції збільшення/ зменшення показників.

Г.3.1 Корегування даних з урахуванням сезонності показника рН

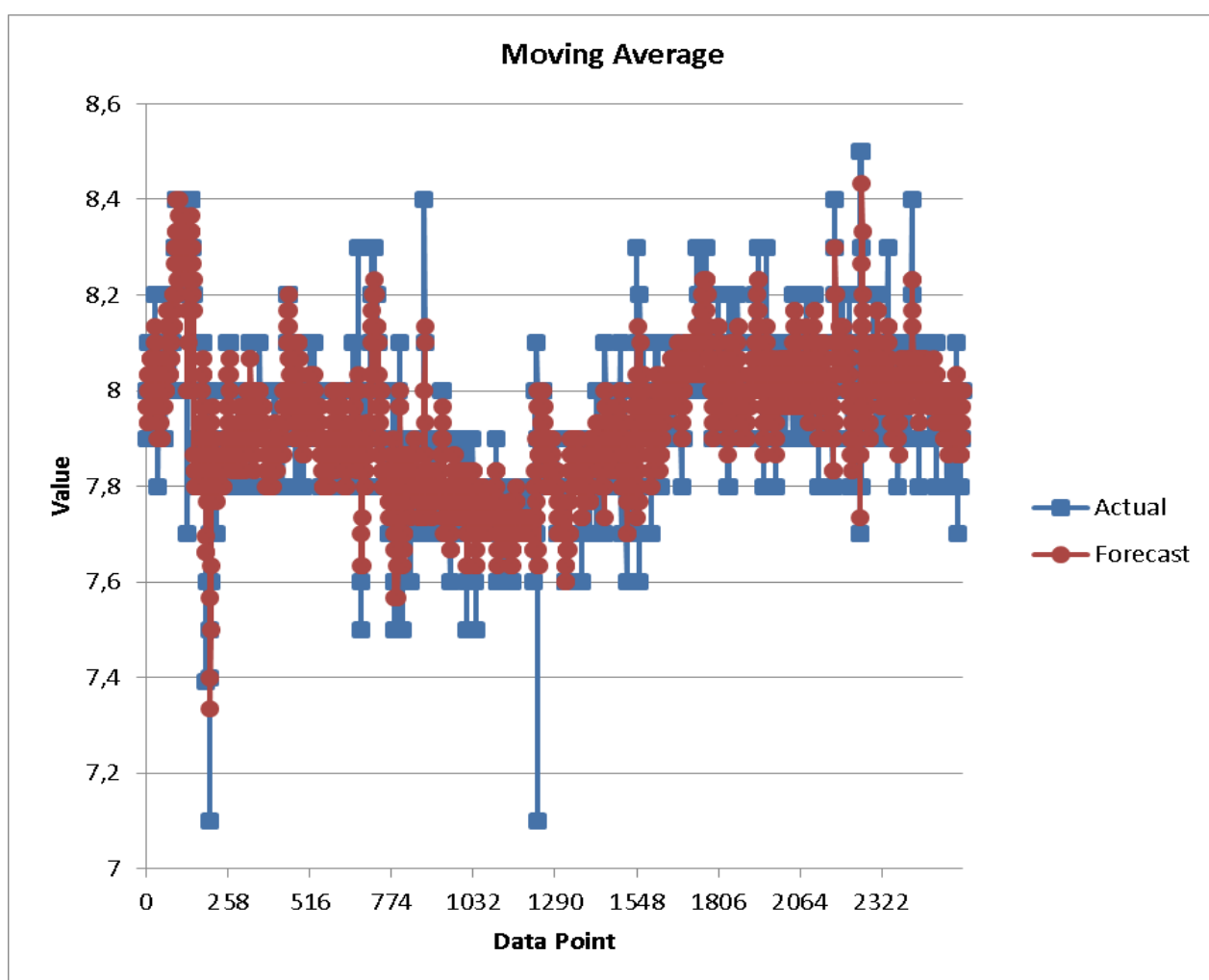


Рисунок Г.12 - Ковзне середнє для визначення очікуваних даних показника рН

За вказаним методом ковзних середніх виявлено, що прогнозовані значення показника очікуються менші за фактичні і мають коливання, які не вписуються в випадкові (28 визначень) значення, коли значно перевищують стандартне відхилення, а саме:

травень, липень 2007 р. - тепліший період вибірки десятиліття та максимальне антропогенне навантаження по основним показники використання водних ресурсів;

лютий, листопад 2009 р. - холодніший період;

квітень 2011 р. - тепліший період;

червень, липень 2012 р. - тепліший період;

березень, квітень 2015 р. - тепліший період та зниження вдвічі антропогенного навантаження від показників 2007 р.;

Спостерігається повна відповідність прогнозу настання поодиноких викидів/сплесків показника рН з фактичними, але значення прогнозу досягає тільки половини фактичних значень.

Таблиця Г.8 - *Moving Average - Variable: pH за Length- Prior*

<i>Forecast</i>	<i>Standard Error</i>	<i>Отклонение Пурсоеа Xu^2</i>	<i>Point</i>	<i>Date</i>
1	2	3	4	5
8,0000	0,2632	0,8657	132	12.05.2007
8,1000	0,2708	0,9053	133	13.05.2007
8,2667	0,2117	0,5421	134	14.05.2007
7,6633	0,2023	0,5338	189	08.07.2007
7,6633	0,2093	0,5716	190	09.07.2007
7,5667	0,2861	1,0817	201	20.07.2007
7,4000	0,2861	1,1061	202	21.07.2007
7,3333	0,2861	1,1162	203	22.07.2007
8,0000	0,2219	0,6157	671	09.02.2009
8,0000	0,2325	0,6759	878	25.11.2009
8,1000	0,2317	0,6630	879	26.11.2009
8,1333	0,2674	0,8789	880	27.11.2009
7,6667	0,3328	1,4444	1236	11.04.2011
7,6333	0,3662	1,7564	1237	12.04.2011
7,6333	0,3930	2,0233	1238	13.04.2011
7,8667	0,2211	0,6215	1239	14.04.2011
7,9000	0,2349	0,6985	1548	20.06.2012
8,0333	0,2349	0,6870	1549	21.06.2012
8,1333	0,2465	0,7468	1550	22.06.2012
7,8667	0,2186	0,6073	1558	04.07.2012
7,9667	0,2285	0,6555	1559	05.07.2012
8,1000	0,2152	0,5716	1560	06.07.2012
8,0000	0,2919	1,0648	2254	30.03.2015
8,1000	0,2893	1,0334	2255	01.04.2015
8,1333	0,3469	1,4800	2256	03.04.2015
8,1333	0,2861	1,0064	2257	07.04.2015
8,2667	0,3162	1,2097	2258	08.04.2015
8,4333	0,2625	0,8169	2259	09.04.2015

Примітка. 1. Фактор сезонності: вплив: цікавий повторювальний період настання великого розкиду даних вимірів рН за однаковими сезонами/місяцями, а саме:
взимку - лютий (2009,2010) рр.
навесні - березень (2015), квітень (2011,2015,2016), травень (2007) і це періоди теплішого сезону
влітку - червень (2012), липень (2007,2009), так само спекотніше літо за інші періоди
восени - листопад (2009,2014), водночас холодніший період.

2. Фактор антропогенного впливу: основні показники використання водних ресурсів (огляд з 2007 р.): (max - 2007 р., далі невеликий спад у 2009 р., але у 2012-2013 р. повернення до попередніх обсягів, з різким зменшенням у 2014 р. й досягненням min - 2015 р., і далі у 2016 р.-2017 р. ситуація суттєво не змінювалась від показників 2015 року).

Г.3.2 Корегування даних з урахуванням сезонності показника розчинний

кисень

За вказаним методом ковзних середніх виявлено, що прогнозовані значення показника очікуються менші за фактичні і мають коливання, які не вписуються в випадковий (28 визначень) значення, коли значно перевищують стандартне відхилення, а саме:

травень, *червень*, липень 2007 р. - тепліший період вибірки десятиліття та максимальне антропогенне навантаження по основним показники використання водних ресурсів;

травень 2008 р.

травень 2009 р. - холодніший період;

червень, липень 2010 р. - холодніший період;

травень 2011 р. - тепліший період;

травень, червень 2012 р. - тепліший період;

березень 2013 р. - тепліший період та зниження вдвічі антропогенного навантаження від показників 2007 р.;

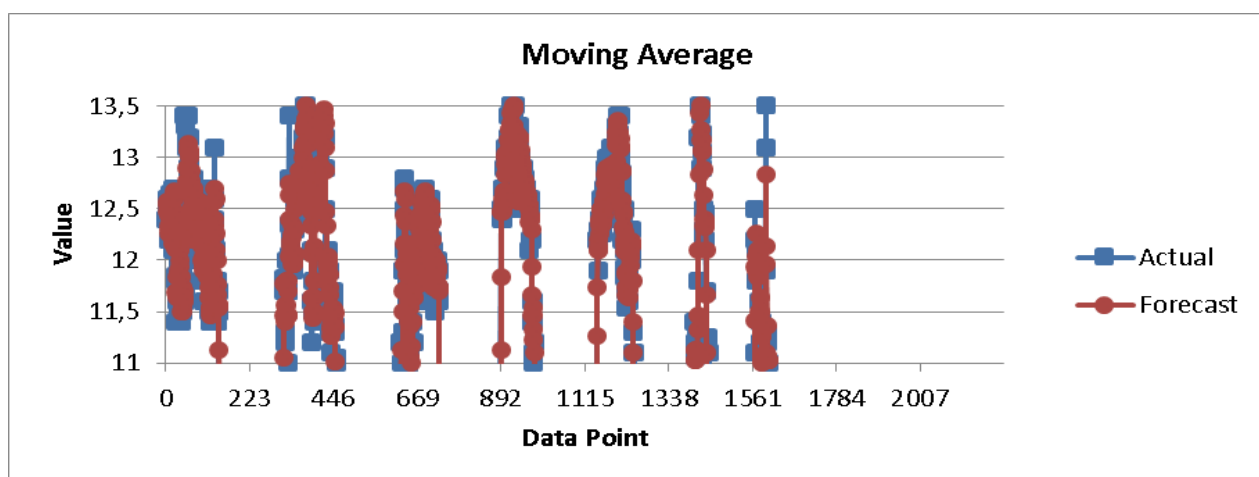


Рисунок Г.13 - Ковзне середнє для визначення очікуваних даних показника розчинний кисень

Таблиця Г.9 - *Moving Average - Variable: soluble oxygen за Length- Prior*

<i>Forecast</i>	<i>Standard Error</i>	<i>Отклонение Пурсоеа χ_u^2</i>	<i>Point</i>	<i>Date</i>
1	2	3	4	5
8,3333	0,9487	0,1080	149	29.05.2007
7,3667	1,1304	0,1735	150	30.05.2007
6,0333	1,2486	0,2584	151	31.05.2007
5,4000	0,8886	0,1462	152	01.06.2007
6,8000	1,2780	0,2402	207	26.07.2007
7,2333	1,2380	0,2119	208	27.07.2007
7,5000	1,3023	0,2261	209	28.07.2007
5,9133	1,2976	0,2847	483	21.05.2008
5,7767	1,2968	0,2911	484	22.05.2008
5,7767	1,3009	0,2930	485	23.05.2008
9,3667	0,9989	0,1065	730	01.05.2009
8,7333	0,9624	0,1061	1259	12.05.2011
7,9167	1,0100	0,1288	1260	13.05.2011
7,2167	0,9982	0,1381	1261	16.05.2011
7,2667	1,1124	0,1703	1462	14.05.2012
6,2000	1,2523	0,2529	1463	15.05.2012
5,2000	1,2523	0,3016	1464	16.05.2012
6,4333	0,9854	0,1509	1474	11.06.2012
6,5333	1,0165	0,1582	1475	12.06.2012
6,7000	1,0963	0,1794	1476	13.06.2012
5,4667	0,8094	0,1199	1477	18.06.2012
5,4667	0,8522	0,1329	1478	19.06.2012
5,8333	0,9832	0,1657	1479	20.06.2012
6,0333	0,9713	0,1564	1480	25.06.2012
5,8000	0,9290	0,1488	1481	26.06.2012
11,1000	1,3916	0,1745	1595	19.03.2013
12,1333	1,4983	0,1850	1596	20.03.2013
12,8333	1,5880	0,1965	1597	25.03.2013

Спостерігається відповідність очікуваних значень до фактичних показників розчинного кисню, але значення прогнозу більш сглажене і не має різких сплесків.

Г.3.3 Корегування даних з урахуванням сезонності показника сухий залишок

За вказаним методом ковзних середніх виявлено, що прогнозовані значення показника очікуються менші за фактичні і мають коливання, які не вписуються в випадкові (21 визначень) значення, коли значно перевищують стандартне відхилення, а саме:

березень 2008 р.

квітень, травень 2010 р. - холодніший період;

березень, квітень 2011 р. - тепліший період;

грудень 2013 р. - тепліший період та зниження вдвічі антропогенного навантаження від показників 2007 р.;

вересень, грудень 2015 р.;

серпень 2016 р.;

Періоди фактичних коливань показника сухого залишку (мінералізації) не співпадають з коливаннями показників рН та розчинний кисень, що пояснюється відсутністю впливу показника мінералізації на ці показники.

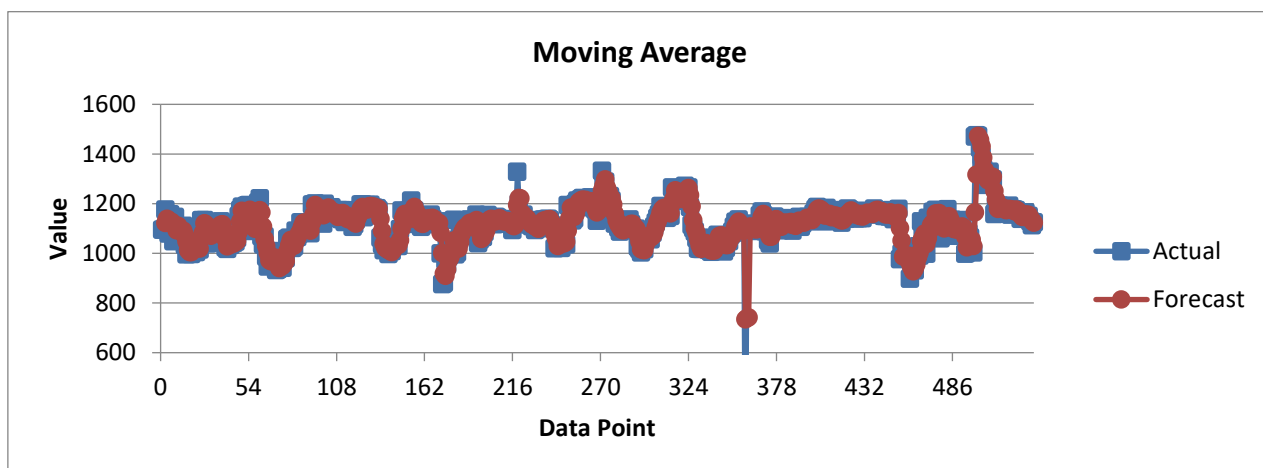


Рисунок Г.10 - Ковзне середнє для визначення очікуваних даних показника сухий залишок

Таблиця Г.10 - *Moving Average - Variable: Dry residue за Length- Prior*

Forecast	Standard Error	Відхилення Пірсона χ^2	Point	Date
1	2	3	4	5
1 164,6667	72,5846	4,5236	62	11.03.2008
1 108,3333	74,6969	5,0343	63	18.03.2008
1 057,3333	69,8657	4,6165	64	25.03.2008
1 001,3333	86,9994	7,5588	173	27.04.2010
918,6667	89,5762	8,7343	174	04.05.2010
909,6667	83,6912	7,6998	175	11.05.2010
1 193,6667	78,6737	5,1853	219	21.03.2011
1 222,0000	79,4898	5,1707	220	28.03.2011
1 221,0000	93,1941	7,1131	221	04.04.2011
733,6800	417,2300	237,2708	359	02.12.2013
739,3467	471,2940	300,4248	360	09.12.2013
741,3467	513,3906	355,5285	361	16.12.2013
1 107,3333	299,1676	80,8259	362	23.12.2013
1 099,3333	203,6221	37,7156	363	30.12.2013
1 101,3333	73,0829	4,8497	454	28.09.2015
1 051,3333	79,0766	5,9478	455	05.10.2015
986,6667	78,4219	6,2331	456	12.10.2015
1 164,0000	178,5020	27,3737	500	01.08.2016
1 316,3333	199,5157	30,2405	501	08.08.2016
1 472,6667	199,0069	26,8925	502	15.08.2016
1 457,6667	93,5278	6,0010	503	22.08.2016

Спостерігається відповідність очікуваних значень до фактичних показників сухого залишку (мінералізації), але значення прогнозу більш сглажене і не має невелике зміщення в точках сплесків значень у правий бік.

Таким чином, повторюваність періодів коливань значень, які не є випадковими, визначає природу сезонності коливань для показників рН та розчинний кисень.

Г.4 Прогноз за методом експоненціального згладжування з трендом і сезонністю Хольта - Вінтерса

Таблиця Г.11 - Розрахунок коефіцієнтів сезонності для показника розчинний кисень по кожному місяцю

місяць	коэф.сезонності
1	1,4322
2	1,4423
3	1,3281
4	1,2080
5	0,9036
6	0,6366
7	0,6420
8	0,6003
9	0,7437
10	0,8933
11	0,9330
12	1,2363

Таблиця Г.12 - Розрахунок прогнозних значень для показника розчинний кисень з врахуванням коефіцієнтів сезонності

прогноз Y_t^*	факт_soluble oxygen Y_t	Y_t прогноз з врахуванням індивідуальної сезонності I_p
	12,29355	0
12,10357143	12,10357	17,45717135
11,91359447	12,53871	15,82275316
11,9008069	11,98667	14,37673978
11,78207004	10,84516	10,64650809
11,37987079	5,313333	7,244982552
9,453377018	6,054194	6,069267223

прогноз Y_t^*	факт_soluble oxygen Y_t	Y_t прогноз з врахуванням індивідуальної сезонності I_p
7,827767901	5,203226	4,699099329
6,166687049	6,603333	4,58630614
5,176380172	8,329032	4,6238751
4,988689297	11,44667	7,144642894
5,974442358	12,52194	7,385941684
7,470117799	12,69032	10,69846624
9,08083786	13,18621	13,09743521
10,76723451	11,65333	14,30024283
11,84915682	9,679091	14,31434403
12,13129182	7,7	10,9620717
11,60965817	5,956667	7,391276441
10,40924815	5,497826	6,68295663
8,994886463	6,080952	5,399734059
7,778204954	7,054545	5,784828849
6,963722832	8,32913	6,220444313
6,687091445	10,315	6,239248709
7,154215729	11,56087	8,844443883
8,114281894	11,48182	11,62101767
9,110445415	12,145	13,14013865
10,26489492	12,42727	13,63307263
11,39981118	11,61364	13,77151316
12,14465424	7,419048	10,97414625
11,50545505	5,009091	7,324935639
10,00976586	4,925652	6,426480585
8,426950894	5,110476	5,058795788
6,963707985	6,018182	5,179068833
5,923673576	7,85	5,291405546
5,626724159	9,802381	5,249895524
6,111883551	11,66957	7,555854217
7,302083039	13,20952	10,45781218
9,00842092	12,995	12,99298712
10,61353077	12,63913	14,09610492
11,96191685	10,89227	14,4505635
12,58493662	8,389048	11,37199398
12,24156328	6,264091	7,793578153
11,07837664	5,104545	7,112551217
9,467725837	4,590909	5,683584987
7,719801577	5,768182	5,741392922
6,435113809	7,679048	5,748256797
5,90977603	9,573636	5,513991063
6,163702012	12,0613	7,619915113
7,325687327	12,75143	10,4916175
8,79642677	12,997	12,68722462

прогноз Y_t^*	факт_soluble oxygen Y_t	Y_t прогноз з врахуванням індивідуальної сезонності I_p
10,32699066	12,3087	13,71554357
11,5437882	11,31429	13,94544424
12,28250674	7,406818	11,09871245
11,68704041	5,034545	7,440541761
10,22210871	4,670952	6,562809164
8,570208362	4,915652	5,144794898
7,039391499	6,430455	5,235356392
6,097652448	7,586111	5,446814643
5,704732612	9,435714	5,322679655
6,059138339	10,29167	7,49064762
6,83564747	11,39786	9,789797924
8,02317624	13,09923	11,57195322
9,698662289	11,49583	12,88104441
10,82560816	10,64615	13,07784865
11,52712174	6,735714	10,41613184
10,90790896	5,916667	6,944508558
9,872548329	4,907143	6,338384035
8,470012823	4,653846	5,084646361
7,020670175	7,253333	5,221432915
6,43264035	7,573333	5,746047344
6,119449254	9,508333	5,709622213
6,529097108	10,10769	8,071637083
7,246790385	11,375	10,37862379
8,388778188	11,4	12,09926666
9,523898989	11,00833	12,64893674
10,45218594	10,30714	12,62673689
11,02997498	6,392308	9,966900343
10,32344345	5,333333	6,572409219
9,16904251	4,657333	5,886718477
7,775831293	5,358333	4,667921185
6,637707425	6,292308	4,936614763
5,905533908	7,528571	5,275202029
5,705399742	9,075	5,323302106
6,122108412	9,835714	7,568494765
6,889150515	10,27692	9,866423291
7,842470802	10,325	11,31131893
8,793387415	9,469231	11,67872542
9,418464389	8,197143	11,37795217
9,556497764	6,916667	8,635437616
9,200816416	6,476923	5,857689918
8,623238162	6,742857	5,536300586
8,080377449	5,575	4,850743753
7,219273978	5,935714	10

прогноз Y_t^*	факт_soluble oxygen Y_t	Y_t прогноз з врахуванням індивідуальної сезонності I_p
6,516514504	7,638462	5,820969123
6,399290901	7,991667	5,970722521
6,499591594	8,946667	8,035160707
6,961635156	9,225	9,970233499
7,555212616	8,491667	10,89700193
7,942498908	7,607143	10,54863837
8,039552804	8,208333	9,712161502
8,254342477	7,2	7,458784722
8,135100769	6,664286	5,179203193
7,818701123	6,653846	5,019770856
7,478669246	6,823077	4,489531381
7,195587927	7,35	5,351523246
7,092913178	7,775	6,335845424
7,151393952	8,161538	6,672456306
7,354040649	8,328571	9,091478689
7,622384849	8,641667	10,91653829
7,97653387	8,869231	11,5046802
8,371280121	8,371429	11,11811379
8,58001284	8,108333	10,36506289
8,655016697	7,971429	7,820841755
8,634564264	7,530769	5,497186092
8,443713496	6,458333	5,421041968
7,920157796	5,966667	4,754562048
7,256675833	6,966667	5,396955718
6,91813656	7,638462	6,179723728
6,844217582	8,385714	6,385851916
7,057107135	8,583333	8,724392778
7,381328427	8,571429	10,57130492
7,724788939	9,133333	11,14158453
8,219462153	8,523077	10,91648042
8,506626824	8	10,27640909
8,586908432		7,759297801
8,772781046		5,585181658
8,95865366		5,751644403
9,144526273		5,489564563
9,330398887		6,939230963
9,5162715		8,50054466
9,702144114		9,052379593
9,888016727		12,22412244
7,843417978		11,23309494
8,029290592		11,58077205
8,215163205		10,91077088
8,401035819		10,14885015

прогноз Y_t^*	факт_soluble oxygen Y_t	Y_t прогноз з врахуванням індивідуальної сезонності I_p
8,586908432		7,759297801
8,772781046		5,585181658
8,95865366		5,751644403
9,144526273		5,489564563
9,330398887		6,939230963
9,5162715		8,50054466
9,702144114		9,052379593
9,888016727		12,22412244

Таблиця Г.13 - Розрахунок прогнозних значень для показника розчинний кисень з врахуванням коефіцієнтів сезонності

	year_month	soluble oxygen Y_t	F_t	S_t	Y_t^*	$Y_t - Y_t^*$	$[Y_t - Y_t^*]$	$(Y_t - Y_t^*)^2$
2007,00	1,00	12,29	12,29	-0,19				
	2,00	12,10	12,10	-0,19	12,10	0,00	0,00	0,00
	3,00	12,54	12,04	-0,14	11,91	0,63	0,63	0,39
	4,00	11,99	11,92	-0,14	11,90	0,09	0,09	0,01
	5,00	10,85	11,59	-0,21	11,78	-0,94	0,94	0,88
	6,00	5,31	10,12	-0,66	11,38	-6,07	6,07	36,80
	7,00	6,05	8,74	-0,92	9,45	-3,40	3,40	11,55
	8,00	5,20	7,28	-1,11	7,83	-2,62	2,62	6,89
	9,00	6,60	6,26	-1,08	6,17	0,44	0,44	0,19
	10,00	8,33	5,83	-0,84	5,18	3,15	3,15	9,94
	11,00	11,45	6,33	-0,36	4,99	6,46	6,46	41,71
	12,00	12,52	7,34	0,13	5,97	6,55	6,55	42,87
2008,00	1,00	12,69	8,56	0,52	7,47	5,22	5,22	27,25
	2,00	13,19	9,94	0,83	9,08	4,11	4,11	16,85
	3,00	11,65	10,95	0,90	10,77	0,89	0,89	0,79
	4,00	9,68	11,40	0,73	11,85	-2,17	2,17	4,71
	5,00	7,70	11,21	0,40	12,13	-4,43	4,43	19,64
	6,00	5,96	10,43	-0,02	11,61	-5,65	5,65	31,96
	7,00	5,50	9,39	-0,39	10,41	-4,91	4,91	24,12
	8,00	6,08	8,39	-0,61	8,99	-2,91	2,91	8,49
	9,00	7,05	7,63	-0,66	7,78	-0,72	0,72	0,52
	10,00	8,33	7,25	-0,56	6,96	1,37	1,37	1,86
	11,00	10,32	7,44	-0,29	6,69	3,63	3,63	13,16
	12,00	11,56	8,07	0,04	7,15	4,41	4,41	19,42
2009,00	1,00	11,48	8,82	0,29	8,11	3,37	3,37	11,34
	2,00	12,15	9,74	0,52	9,11	3,03	3,03	9,21
	3,00	12,43	10,72	0,68	10,26	2,16	2,16	4,68

	year_month	soluble oxygen Y _t	F _t	S _t	Y _t *	Y _t -Y _t *	[Y _t - Y _t *	(Y _t - Y _t *
]) ²
	4,00	11,61	11,44	0,70	11,40	0,21	0,21	0,05
	5,00	7,42	11,16	0,35	12,14	-4,73	4,73	22,33
	6,00	5,01	10,15	-0,14	11,51	-6,50	6,50	42,20
	7,00	4,93	8,95	-0,52	10,01	-5,08	5,08	25,85
	8,00	5,11	7,74	-0,77	8,43	-3,32	3,32	11,00
	9,00	6,02	6,77	-0,84	6,96	-0,95	0,95	0,89
	10,00	7,85	6,33	-0,70	5,92	1,93	1,93	3,71
	11,00	9,80	6,50	-0,39	5,63	4,18	4,18	17,44
	12,00	11,67	7,27	0,03	6,11	5,56	5,56	30,89
2010,00	1,00	13,21	8,53	0,48	7,30	5,91	5,91	34,90
	2,00	13,00	9,84	0,77	9,01	3,99	3,99	15,89
	3,00	12,64	11,04	0,93	10,61	2,03	2,03	4,10
	4,00	10,89	11,74	0,85	11,96	-1,07	1,07	1,14
	5,00	8,39	11,71	0,53	12,58	-4,20	4,20	17,61
	6,00	6,26	11,00	0,08	12,24	-5,98	5,98	35,73
	7,00	5,10	9,83	-0,37	11,08	-5,97	5,97	35,69
	8,00	4,59	8,45	-0,73	9,47	-4,88	4,88	23,78
	9,00	5,77	7,31	-0,88	7,72	-1,95	1,95	3,81
	10,00	7,68	6,69	-0,78	6,44	1,24	1,24	1,55
	11,00	9,57	6,67	-0,51	5,91	3,66	3,66	13,42
	12,00	12,06	7,39	-0,07	6,16	5,90	5,90	34,78
2011,00	1,00	12,75	8,46	0,34	7,33	5,43	5,43	29,44
	2,00	13,00	9,67	0,66	8,80	4,20	4,20	17,64
	3,00	12,31	10,74	0,80	10,33	1,98	1,98	3,93
	4,00	11,31	11,50	0,79	11,54	-0,23	0,23	0,05
	5,00	7,41	11,27	0,42	12,28	-4,88	4,88	23,77
	6,00	5,03	10,30	-0,08	11,69	-6,65	6,65	44,26
	7,00	4,67	9,07	-0,49	10,22	-5,55	5,55	30,82
	8,00	4,92	7,81	-0,77	8,57	-3,65	3,65	13,36
	9,00	6,43	6,91	-0,81	7,04	-0,61	0,61	0,37
	10,00	7,59	6,41	-0,70	6,10	1,49	1,49	2,22
	11,00	9,44	6,48	-0,42	5,70	3,73	3,73	13,92
	12,00	10,29	6,94	-0,11	6,06	4,23	4,23	17,91
2012,00	1,00	11,40	7,79	0,24	6,84	4,56	4,56	20,81
	2,00	13,10	9,08	0,62	8,02	5,08	5,08	25,77
	3,00	11,50	10,07	0,75	9,70	1,80	1,80	3,23
	4,00	10,65	10,79	0,74	10,83	-0,18	0,18	0,03
	5,00	6,74	10,53	0,38	11,53	-4,79	4,79	22,96
	6,00	5,92	9,87	0,00	10,91	-4,99	4,99	24,91
	7,00	4,91	8,84	-0,37	9,87	-4,97	4,97	24,66
	8,00	4,65	7,67	-0,65	8,47	-3,82	3,82	14,56
	9,00	7,25	7,07	-0,64	7,02	0,23	0,23	0,05
	10,00	7,57	6,67	-0,55	6,43	1,14	1,14	1,30

	year_month	soluble oxygen Y _t	F _t	S _t	Y _t *	Y _t -Y _t *	[Y _t - Y _t *	(Y _t - Y _t *
	11,00	9,51	6,83	-0,30	6,12	3,39	3,39	11,48
	12,00	10,11	7,27	-0,03	6,53	3,58	3,58	12,81
2013,00	1,00	11,38	8,11	0,28	7,25	4,13	4,13	17,04
	2,00	11,40	9,02	0,51	8,39	3,01	3,01	9,07
	3,00	11,01	9,83	0,62	9,52	1,48	1,48	2,20
	4,00	10,31	10,42	0,61	10,45	-0,15	0,15	0,02
	5,00	6,39	10,06	0,26	11,03	-4,64	4,64	21,51
	6,00	5,33	9,28	-0,11	10,32	-4,99	4,99	24,90
	7,00	4,66	8,23	-0,45	9,17	-4,51	4,51	20,36
	8,00	5,36	7,27	-0,63	7,78	-2,42	2,42	5,84
	9,00	6,29	6,57	-0,66	6,64	-0,35	0,35	0,12
	10,00	7,53	6,24	-0,54	5,91	1,62	1,62	2,63
	11,00	9,08	6,41	-0,29	5,71	3,37	3,37	11,35
	12,00	9,84	6,90	-0,01	6,12	3,71	3,71	13,79
2014,00	1,00	10,28	7,60	0,25	6,89	3,39	3,39	11,48
	2,00	10,33	8,36	0,43	7,84	2,48	2,48	6,16
	3,00	9,47	8,93	0,48	8,79	0,68	0,68	0,46
	4,00	8,20	9,16	0,39	9,42	-1,22	1,22	1,49
	5,00	6,92	9,01	0,19	9,56	-2,64	2,64	6,97
	6,00	6,48	8,63	-0,01	9,20	-2,72	2,72	7,42
	7,00	6,74	8,23	-0,15	8,62	-1,88	1,88	3,54
	8,00	5,58	7,56	-0,34	8,08	-2,51	2,51	6,28
	9,00	5,94	6,95	-0,44	7,22	-1,28	1,28	1,65
	10,00	7,64	6,75	-0,35	6,52	1,12	1,12	1,26
	11,00	7,99	6,73	-0,23	6,40	1,59	1,59	2,54
	12,00	8,95	7,01	-0,05	6,50	2,45	2,45	5,99
2015,00	1,00	9,23	7,43	0,12	6,96	2,26	2,26	5,12
	2,00	8,49	7,75	0,19	7,56	0,94	0,94	0,88
	3,00	7,61	7,87	0,17	7,94	-0,34	0,34	0,11
	4,00	8,21	8,07	0,18	8,04	0,17	0,17	0,03
	5,00	7,20	8,03	0,10	8,25	-1,05	1,05	1,11
	6,00	6,66	7,83	-0,01	8,14	-1,47	1,47	2,16
	7,00	6,65	7,58	-0,10	7,82	-1,16	1,16	1,36
	8,00	6,82	7,34	-0,15	7,48	-0,66	0,66	0,43
	9,00	7,35	7,23	-0,13	7,20	0,15	0,15	0,02
	10,00	7,78	7,24	-0,08	7,09	0,68	0,68	0,47
	11,00	8,16	7,36	-0,01	7,15	1,01	1,01	1,02
	12,00	8,33	7,56	0,07	7,35	0,97	0,97	0,95
2016,00	1,00	8,64	7,83	0,14	7,62	1,02	1,02	1,04
	2,00	8,87	8,16	0,21	7,98	0,89	0,89	0,80
	3,00	8,37	8,37	0,21	8,37	0,00	0,00	0,00
	4,00	8,11	8,48	0,17	8,58	-0,47	0,47	0,22
	5,00	7,97	8,51	0,12	8,66	-0,68	0,68	0,47

	year_month	soluble oxygen Y_t	F_t	S_t	Y_t^*	$Y_t - Y_t^*$	$[Y_t - Y_t^*]$	$(Y_t - Y_t^*)^2$
	6,00	7,53	8,40	0,04	8,63	-1,10	1,10	1,22
	7,00	6,46	8,03	-0,11	8,44	-1,99	1,99	3,94
	8,00	5,97	7,51	-0,26	7,92	-1,95	1,95	3,82
	9,00	6,97	7,20	-0,28	7,26	-0,29	0,29	0,08
	10,00	7,64	7,07	-0,22	6,92	0,72	0,72	0,52
	11,00	8,39	7,17	-0,11	6,84	1,54	1,54	2,38
	12,00	8,58	7,38	0,01	7,06	1,53	1,53	2,33
2017,00	1,00	8,57	7,63	0,10	7,38	1,19	1,19	1,42
	2,00	9,13	8,02	0,20	7,72	1,41	1,41	1,98
	3,00	8,52	8,28	0,22	8,22	0,30	0,30	0,09
	4,00	8,00	8,40	0,19	8,51	-0,51	0,51	0,26
	5,00		6,80	-0,46	8,59	-8,59	8,59	73,73
	6,00				8,77		8,77	
	7,00				8,96		8,96	
	8,00				9,14		9,14	
	9,00				9,33		9,33	
	10,00				9,52		9,52	
	11,00				9,70		9,70	
	12,00				9,89		9,89	
2018,00	1,00				7,84		7,84	
	2,00				8,03		8,03	
	3,00				8,22		8,22	
	4,00				8,40		8,40	
	5,00				8,59		8,59	
	6,00				8,77		8,77	
	7,00				8,96		8,96	
	8,00				9,14		9,14	
	9,00				9,33		9,33	
	10,00				9,52		9,52	
	11,00				9,70		9,70	
	12,00				9,89		9,89	

Таблиця Г.14 - Розрахунок похибок прогнозних значень для показника розчинний кисень з врахуванням коефіцієнтів сезонності

$MSE = (Y_t - Y_t^*)^2 / 2$	$MAE = [Y_t - Y_t^*] / 2$	RMSE	MAPE
0,20	0,31	0,44	0,06
0,00	0,04	0,06	549,33
0,44	0,47	0,66	492,26
18,40	3,03	4,29	215,67
5,78	1,70	2,40	252,71
3,44	1,31	1,86	210,16
0,10	0,22	0,31	280,17

$MSE=(Y_t-Y_t^*)^2/2$	$MAE=[Y_t-Y_t^*]/2$	RMSE	MAPE
4,97	1,58	2,23	366,45
20,85	3,23	4,57	522,33
21,43	3,27	4,63	576,10
13,63	2,61	3,69	584,52
8,43	2,05	2,90	609,31
0,39	0,44	0,63	532,67
2,35	1,09	1,53	433,95
9,82	2,22	3,13	335,00
15,98	2,83	4,00	247,83
12,06	2,46	3,47	224,89
4,25	1,46	2,06	254,05
0,26	0,36	0,51	302,73
0,93	0,68	0,97	366,46
6,58	1,81	2,57	465,75
9,71	2,20	3,12	528,04
5,67	1,68	2,38	524,09
4,60	1,52	2,15	557,25
2,34	1,08	1,53	571,36
0,02	0,11	0,15	530,68
11,17	2,36	3,34	320,95
21,10	3,25	4,59	200,45
12,92	2,54	3,60	196,28
5,50	1,66	2,35	205,52
0,45	0,47	0,67	250,91
1,86	0,96	1,36	342,50
8,72	2,09	2,95	440,12
15,44	2,78	3,93	533,48
17,45	2,95	4,18	610,48
7,95	1,99	2,82	599,75
2,05	1,01	1,43	581,96
0,57	0,53	0,76	494,61
8,80	2,10	2,97	369,45
17,87	2,99	4,23	263,20
17,84	2,99	4,22	205,23
11,89	2,44	3,45	179,55
1,90	0,98	1,38	238,41
0,77	0,62	0,88	333,95
6,71	1,83	2,59	428,68
17,39	2,95	4,17	553,07
14,72	2,71	3,84	587,57
8,82	2,10	2,97	599,85
1,96	0,99	1,40	565,43
0,03	0,11	0,16	515,71
11,89	2,44	3,45	320,34

$MSE=(Y_t-Y_t^*)^2/2$	$MAE=[Y_t-Y_t^*]/2$	RMSE	MAPE
22,13	3,33	4,70	201,73
15,41	2,78	3,93	183,55
6,68	1,83	2,58	195,78
0,19	0,30	0,43	271,52
1,11	0,74	1,05	329,31
6,96	1,87	2,64	421,79
8,96	2,12	2,99	464,58
10,41	2,28	3,23	519,89
12,88	2,54	3,59	604,96
1,61	0,90	1,27	524,79
0,02	0,09	0,13	482,31
11,48	2,40	3,39	286,79
12,46	2,50	3,53	245,83
12,33	2,48	3,51	195,36
7,28	1,91	2,70	182,69
0,03	0,12	0,16	312,67
0,65	0,57	0,81	328,67
5,74	1,69	2,40	425,42
6,40	1,79	2,53	455,38
8,52	2,06	2,92	518,75
4,53	1,51	2,13	520,00
1,10	0,74	1,05	500,42
0,01	0,07	0,10	465,36
10,75	2,32	3,28	269,62
12,45	2,50	3,53	216,67
10,18	2,26	3,19	182,87
2,92	1,21	1,71	217,92
0,06	0,17	0,24	264,62
1,32	0,81	1,15	326,43
5,68	1,68	2,38	403,75
6,90	1,86	2,63	441,79
5,74	1,69	2,40	463,85
3,08	1,24	1,76	466,25
0,23	0,34	0,48	423,46
0,75	0,61	0,86	359,86
3,48	1,32	1,87	295,83
3,71	1,36	1,93	273,85
1,77	0,94	1,33	287,14
3,14	1,25	1,77	228,75
0,82	0,64	0,91	246,79
0,63	0,56	0,79	331,92
1,27	0,80	1,13	349,58
2,99	1,22	1,73	397,33
2,56	1,13	1,60	411,25

$MSE=(Y_t-Y_t^*)^2/2$	$MAE=[Y_t-Y_t^*]/2$	RMSE	MAPE
0,44	0,47	0,66	374,58
0,06	0,17	0,24	330,36
0,01	0,08	0,12	360,42
0,56	0,53	0,75	310,00
1,08	0,74	1,04	283,21
0,68	0,58	0,82	282,69
0,21	0,33	0,46	291,15
0,01	0,08	0,11	317,50
0,23	0,34	0,48	338,75
0,51	0,51	0,71	358,08
0,47	0,49	0,69	366,43
0,52	0,51	0,72	382,08
0,40	0,45	0,63	393,46
0,00	0,00	0,00	368,57
0,11	0,24	0,33	355,42
0,23	0,34	0,48	348,57
0,61	0,55	0,78	326,54
1,97	0,99	1,40	272,92
1,91	0,98	1,38	248,33
0,04	0,15	0,21	298,33
0,26	0,36	0,51	331,92
1,19	0,77	1,09	369,29
1,16	0,76	1,08	379,17
0,71	0,60	0,84	378,57
0,99	0,70	1,00	406,67
0,05	0,15	0,21	376,15
0,13	0,25	0,36	350,00
36,87	4,29	6,07	-50,00

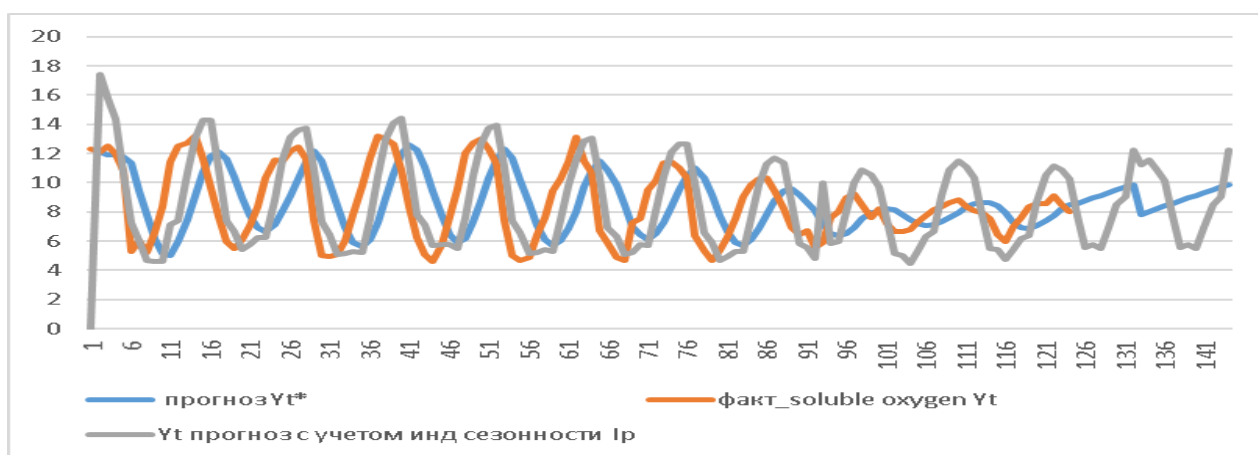


Рисунок Г.11 - Очікувані дані показника розчинний кисень на наступні роки (2018 рік)

Г.5 Прогноз за методом ARMA (експоненціального згладжування та ковзаного середнього)



Рисунок Г.12 - Очікувані дані показника розчинний кисень на наступні роки (до 2100 рік)

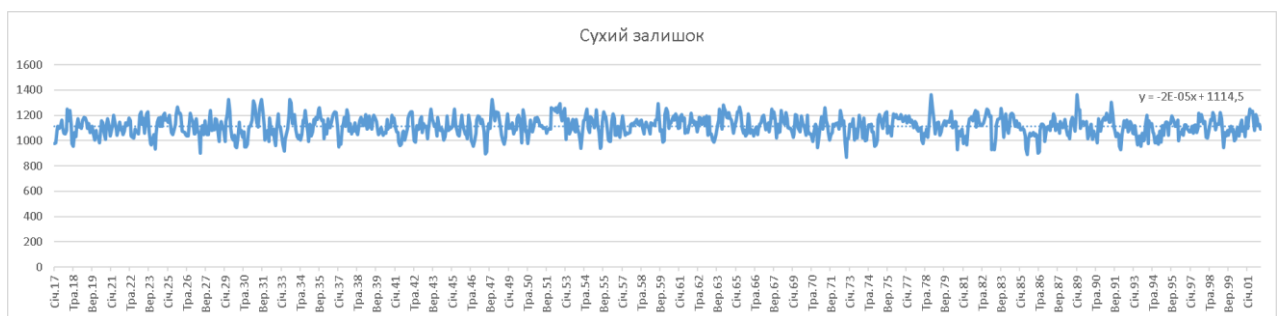


Рисунок Г.13 - Очікувані дані показника сухий залишок на наступні роки (до 2100 рік)

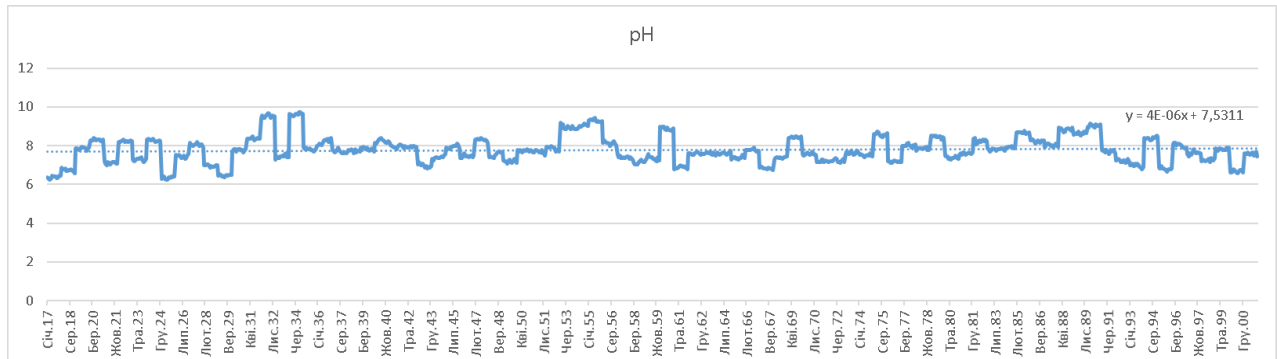


Рисунок Г.14 - Очікувані дані показника рН на наступні роки (до 2100 рік)

Перелік джерел посилань до додатку Г

1. Kalekar P.S. Time series forecasting using Holt-Winters exponential smoothing. [Electronic resource]// Kanwal Rekhi School of Information Technology: [website]. URL: http://www.it.iitb.ac.in/~praj/acads/seminar/04329008_ExponentialSmoothing.pdf (дата обращения 17.05.2012)

2. Gardner S.E, Jr Exponential Smoothing: The state of the Art// Journal of Forecasting. 1985. Vol.4. P.1-28

ДОДАТОК Д

ЗВЕДЕНІ РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ
МАСИВУ УСІХ 19 ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ

Таблиця Д.1 - Зведені результати обробки даних масиву показників якості води р.Сіверський Донець в період 2007-2017 рр. за методами описової статистики

№	Показник виміру	Кількість вимірів	Динаміка часових рядів у порівнянні до середнього значення показника за місяць	Розмах варіації/розкид даних/однорідність даних (коєф. варіації)
1	2	3	4	5
1	Температура повітря	2703	- тенденція потепління - збільшення середньої добової температури повітря від заморозків від 2011 року і піку у 2012 року, і знову теплих зим без істотних заморозків у 2014 - 2015 роках; та від найспекотнішого літа 2010, 2011 років до поступового зниження температур у 2013 році, і знову коливання у бік збільшення з 2014 до 2017 років <u>вище середніх значень:</u> 2016 р. - лютий 4,2/ ср (-2) °С тепліше 2010 р. - липень (33,5/ ср 25,8 °С) 2011 р. - липень (30,3/ ср 25,8 °С) 2010 р.- серпень (33,6/ср 26,7 °С) 2010 р. - листопад - (23,1/ ср 4,9 °С) 2012 р.- грудень - (-4,9)/ср 0 °С і 2016 р. - грудень (-3,9)/ ср 0 °С) - раніше прийшла зима за температурними показниками <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2012 р.- лютий - (-11,4)/ ср (-2) °С	однорідні, крім 2012 р. - 01 міс. 2014 р. - 01 міс. 2016 р. - 01 міс. 2012 р. - 02 міс. 2012 р. - 06 міс. 2015 р. - 06 міс. 2012 р. - 12 міс.
2.	Температура води	1846	- наявні коливання в межах середніх значень <u>вище сер. очікуваних:</u> 2009 р. - грудень 5,0/ ср 2,74 °С 2007 р. - січень 3,61/ ср 1,63 °С тепліше 2016 р. - лютий 3,0/ ср 1,32 °С <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2011 - вересень 12,91/ ср 16,54 °С 2012 - вересень 12,17/ ср 16,54 °С 2013 р. - травень 8,0/ ср 13,61 °С 2016 р. - травень 8,4/ ср 13,61 °С 2011 р. - жовтень 5,67/ ср 10,06 °С 2016 р. - жовтень 5,8/ ср 10,06 °С 2011 р. - листопад 1,41/ ср 4,57 °С	однорідні, крім: 2014 р. - 01 міс. 2007 р. - 04 міс. 2008 р. - 04 міс. 2010 р. - 04 міс. 2012 р. - 04 міс. 2011 р. - 05 міс. 2013 р. - 06 міс. 2016 р. - 06 міс. 2012 р. - 08 міс. 2011 р. - 09 міс. 2016 р. - 10 міс.
3.	Азот амонійний	1071	- спостерігається адитивна виражена сезонність, особливо в період року з квітня до вересня; - тенденція збільшення показника середнього значення з 2016 - 2017 років від загальних середніх рівнів в інші періоди. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2017 р. - лютий 0,47/ ср 0,32 мг/дм ³ 2008 р. березень 0,47/ ср 0,34 2012 р. березень 0,46/ ср 0,34 2008 р. - квітень 0,41/ ср 0,29 2012 р. - квітень 0,38/ ср 0,29 2007 р. жовтень 2,69/ ср 0,57	однорідні, крім: 2012 р. - 03 міс. 2010 р. - 04 міс. 2016 р. - 08 міс. 2007 р. - 10 міс

1	2	3	4	5
			<p><u>нижче сер. очікуваних:</u> 2007 р. грудень 0,17/ ср 0,27</p>	
4.	Залізо, заг.	537	<p>- впродовж календарного року з квітня по червень наявна нечітко виражена сезонність; - спостерігається тенденція коливань показника середнього значення від зменшення з 2007 до 2009 року, потім у 2011,2012 роках підвищення і з лютого 2013 року поступове зниження концентрації до кінця 2015 року. Далі в 2016-2017 роках різке збільшення показника. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2013р. січень 0,15/ ср. 0,08 2011 р. квітень 0,15/ ср. 0,09 2016 р. червень 0,14/ ср. 0,09 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2008 липень 0,04/ ср. 0,08</p>	<p>однорідна сукупність, крім: 2012 р. -01 міс. 2011 р. -03 міс. 2011 р. -04 міс. 2011 р. -07 міс.</p>
5.	Нітрати	1068	<p>- спостерігається виражена сезонність з 2007-2014 роки, це більш кількісні показники в зимовий період та менші на 40-60% влітку. Виключення - 2015, 2016 р. - суттєве зменшення вмісту і майже лінійна залежність; - тенденція коливань показника середнього значення з 2011 р. поступове зменшення концентрації показника у зимовий період і водночас збільшення кількості показника у весняно-осінню межень 2014-2015 років. З лютого 2016 року спостерігається різке загальне збільшення середнього рівня показника. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2008 р. січень 14,99/ср 10,25 2010 р. листопад 14,31/ ср 8,38 2010 р. грудень 11,27/ ср 9,06 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2014 р. квітень 5,04/ ср 7,33 2015 р. березень 5,47/ ср 9,26</p>	<p>мала однорідність сукупності, а саме: 2009 р. - 01 міс 2011 р. - 01 міс. 2013 р. - 01 міс. 2009 р. - 02 міс. 2010 р. - 02 міс. 2011 р. - 02 міс. 2016 р. - 02 міс. 2009 р. - 03 міс. 2011 р. - 03 міс. 2010 р. - 04 міс. 2007 р. - 06 міс. 2008 р. - 10 міс. 2007 р. - 11 міс. 2012 р. - 11 міс. 2009 р. - 12 міс.</p>
6.	Нітриги	1071	<p>- чітко наявна адитивна сезонність значень показника, а саме зменшення кількості показника у літній період. Період 2 півріччя 2014 року, 2015 рік - в межах середньо очікуваних значень, не менше. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2009 р. лютий 1,24/ ср 0,22 2017 р. квітень 0,22/ ср 0,10 2015 р. травень 0,84/ ср 0,17 <u>нижче сер. очікуваних:</u> -</p>	<p>однорідна сукупність, крім: 2009 р. - 02 міс. 2017 р. - 04 міс. 2015 р. - 05 міс.</p>
7.	аПАР	131	<p>- сезонність не спостерігається, середні значення показника розташовані в межах стандартного відхилення; - спостерігається мала лінійна тенденція до збільшення з роками вмісту показника; в період 2014-2015 років концентрація була в межах середнього за весь період десятиліття, тобто є фоновим вмістом в воді. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2014 р. жовтень 0,05/ ср 0,03 2014 р. березень 0,042/ ср 0,026 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2013 р. січень 0,003/ ср 0,029 2007 р. березень 0,004/ ср 0,029</p>	<p>однорідна сукупність, але досліджено невелика кількість вимірів показника</p>

1	2	3	4	5
			2007 р. травень 0,006/ср 0,031 2014 р. жовтень 0,05/ср 0,03	
8.	Сульфати	542	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл <u>вище сер. очікуваних:</u> 2012 квітень 404,78/ ср 326,29 2016 серпень 446,28/ ср 337,36 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2010 р. квітень 234,63/ ср 326,29 2010 р. травень 254,70/ ср 325,49 2010 р. червень 265,80/ ср 316,63 2007 р. вересень 283,75/ ср 323,26	однорідна сукупність, крім: 2007 р. - 11 міс. 2016 р. - 08 міс. 2012 р. - 09 міс. 2016 р. - 09 міс.
9.	Феноли	269	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл; - спостерігається суттєве збільшення загального вмісту показника в період лютого-квітня 2012, 2013 років і до початку другого кварталу 2014 року <u>вище сер. очікуваних:</u> 2012 р. березень 0,00175/ ср ,00055 2013 р. квітень 0,0065/ ср 0,0013 <u>нижче сер. очікуваних:</u> -	однорідна сукупність, крім: 2013 р. - 02 міс. 2013 р. - 03 міс. 2014 р. - 03 міс 2013 р. - 04 міс
10.	Хлориди	824	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл; - спостерігається суттєве зменшення загального вмісту показника в період лютого 2013 років і до початку березня 2014 р. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2007 р. липень 195,71/ ср 178,25 2009 р. липень 200,34/ ср 178,25 2010 р. липень 201,00/ ср 178,25 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2010 р. квітень 90,75/ ср 140,47 2008 р. травень 120,18/ ср 148,98 2013 р. липень 130,02/ ср 178,25	однорідна сукупність, крім: 2014 р. -02 міс. 2008 р. - 03 міс. 2010 р. - 03 міс. 2010 р. - 05 міс. 2008 р. - 06 міс. 2007 р. - 08 міс.
11.	ХСК	1067	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл; - з початку червня 2013 р. спостерігається різке збільшення вмісту показника до 2015 року, а в 2016 році - динаміка поступового зменшення на одну чверть від середніх максимальних значень, що доки далеко до досягнення рівня 2012 року; <u>вище сер. очікуваних:</u> 2015 р. квітень 49,53/ ср 29,86 2013 р. червень 33,84/ ср 31,41 2013 р. липень 38,34/ ср 31,01 2014 р. серпень 53,00/ ср 30,95 2013 р. жовтень 50,28/ ср 31,78 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2015 жовтень 33,38/ ср 31,78	однорідна сукупність, крім: 2009 р. - 02 міс. 2013 р. - 03 міс. 2015 р. - 05 міс. 2012 р. - 06 міс.
12.	Фосфати	541	- спостерігаються множинні сезонні коливання на підвищення рівня вмісту у період квітня -серпня або травня- вересня місяця, в залежності від початкового місяця підвищення температури води - чим раніше підвищується температура вод, то вже з наступного місяця спостерігається підвищення вмісту показника; - у травні 2013 р.- різке зниження кількості показника, але до серпня 2013 року значення вирівнялося до середньо очікуваного; <u>вище сер. очікуваних:</u>	однорідна сукупність, крім: 2007 р. -07 міс. 2007 р. - 12 міс.

1	2	3	4	5
			2007 р. липень 2009 р. липень <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2007 р. травень 0,456/ ср 0,907 2013 р. травень 0,698/ ср 0,907 2013 р. червень 0,698/ ср 1,036	
13.	Сухий залишок	536	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; <u>вище сер. очікуваних:</u> 2016 р. серпень <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2008 р. травень 957,25/ ср 1079,20 2010 р. травень 948,75/ ср 1079,20 2015 р. листопад 952,20/ ср 1114,10 2013 р. грудень 885,61/ ср 1118,80	однорідна сукупність, крім: 2010 р. - 04 міс. 2015 р. - 09 міс. 2011 р. - 10 міс. 2016 р. - 10 міс. 2013 р. - 12 міс.
14.	БСК5	188	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; - спостерігається збільшення показника в період з 4 кварталу 2013 року, 2014 -2017 рік спостерігається загальне збільшення показника майже вдвічі. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2007 р. травень - 4,33/ ср 3,14 2008 р. червень - 3,55/ ср 3,28 <u>нижче сер. очікуваних:</u> -	однорідна сукупність, крім: 2008 р. - 07 міс
15	БСКповн	98	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; - з вересня 2013 року та на протязі 2014 року спостерігається різке збільшення показника майже вдвічі. А 2017 році знов повернення до рівня 2007 року. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2013 р. вересень - 4,10/ ср 3,70 2013 р. жовтень - 4,40/ ср 3,49 2013 р. листопад - 4,80/ ср 3,53 2014 р. вересень - 5,90/ ср 3,70 2014 р. жовтень - 6,00/ ср 3,49 <u>нижче сер. очікуваних:</u> -	в цілому однорідна сукупність, навіть у 2013 -2014 роках: (невелике збільшення у 2008, 2013 році)
16	Завислі речовини	536	- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; - з грудня 2007 року спостерігається різке збільшення показника, яке надали залишається у підвищеному діапазоні середніх значень до 2017 року. <u>вище сер. очікуваних:</u> 2009 р. лютий - 19,42/ ср 16,57 2008 р. квітень - 11,10/ ср 14,84 2007 р. червень - 15,00/ ср 9,74 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2007 р. липень - 7,70/ ср 15,00	однорідна сукупність, крім: 2007 р. -06 міс. 2008 р. - 04 міс. 2009 р. - 02 міс.
17	Водневий показник рН	2576	- впродовж календарного року з лютого по квітень спостерігається тенденція росту показника середнього значення і з травня по вересень його поступове зниження. Після чого з жовтня до січня -знову зріст показника, що свідчить про виражену сезонність показника.	однорідна сукупність, крім: 2009 р. - 02 міс 2010 р. - 02 міс 2015 р. - 03 міс 2011 р. - 04 міс. 2015 р. - 04 міс. 2016 р. - 04 міс.

1	2	3	4	5
			<p>- спостерігається загальне зменшення показника у період 2011-2012 років по відношенню до інших періодів десятиліття <u>вище сер. очікуваних:</u> 2007 р. квітень - 8,24/ ср 8,05 2013 р. квітень - 8,18/ ср 8,05 2015 р. квітень - 8,14/ ср 8,05 2007 р. травень - 8,24/ ср 7,98 <u>нижче сер. очікуваних:</u> -</p>	<p>2007 р. - 05 міс. 2012 р. - 06 міс. 2007 р. - 07 міс. 2009 р. - 07 міс. 2009 р. - 11 міс. 2014 р. - 11 міс.</p>
18	Жорсткість (сума іонів магнію та кальцію)	531	<p>- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; - з 2007 року по 2017 рік спостерігається тенденція до поступового зниження кількості показника, з різкою зміною вмісту у 2012, 2013 роках; <u>вище сер. очікуваних:</u> - <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2013 р. серпень - 1,93/ ср 4,02 2012 р. жовтень - 2,58/ ср 3,83 2015 р. жовтень - 2,20/ ср 3,83</p>	<p>однорідна сукупність, крім: 2007 р. - 07 міс. 2008 р. 08 міс. 2012 р. - 11 міс. 2013 р. - 01 міс.</p>
19	Прозорість см	1842	<p>- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; <u>вище сер. очікуваних:</u> 2007 р. серпень - 27,65/ ср 24,95 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2008 р. березень - 15,52/ ср 21,18</p>	<p>однорідна сукупність, крім: 2007 р. - 01 міс. 2012 р. - 01 міс. 2007 р. - 03 міс. 2008 р. - 03 міс. 2011 р. - 03 міс. 2008 р. - 04 міс. 2010 р. - 04 міс. 2011 р. - 04 міс. 2007 р. - 05 міс. 2007 р. - 08 міс.</p>
20	Кольоровість	1840	<p>- сезонність не спостерігається, виражений лінійний розподіл загалом в межах середньо очікуваних значень; - в 2011 році спостерігається знижений показник кольоровості по відношенню до середньо очікуваних значень в інші періоди; <u>вище сер. очікуваних:</u> 2013 р. січень - 26,29/ ср 19,40 2007 р. травень - 33,87/ ср 20,80 2007 р. листопад - 25,00/ ср 19,03 2012 р. грудень - 24,92 / ср 17,63 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2012 р. лютий - 12,00/ ср 19,61 2011 р. квітень - 12,00/ ср 20,10 2008 р. листопад - 13,16/ ср 19,03 2011 р. грудень - 12,89/ ср 18,44</p>	<p>однорідна сукупність, крім: 2007 р. - 05 міс. 2013 р. - 03 міс. 2008 р. - 04 міс. 2007 р. - 12 міс.</p>
21	Розчинений кисень	2228	<p>- наявна чітко виражена сезонність зі зростанням показника від середини березня до серпень включно, а потім поступового зниження від вересня до початку березня; - впродовж досліджуваного часового періоду десяти років спостерігається суттєве зменшення амплітуди коливань меж показника у 2014-2017 роках; <u>вище сер. очікуваних:</u> 2008 р. лютий - 13,19/ ср 11,74 2010 р. лютий - 13,00/ ср 11,74</p>	<p>однорідна сукупність, крім: 2012 р. - 01 міс. 2013 р. - 01 міс. 2013 р. - 03 міс. 2008 р. - 04 міс. 2010 р. - 04 міс. 2011 р. - 04 міс. 2013 р. - 04 міс.</p>

1	2	3	4	5
			2011 р. лютий - 13,00/ср 11,74 2012 р. лютий - 13,10/ ср 11,74 2007 р. травень - 10,85/ ср 8,02 2007 р. листопад - 11,45/ ср 9,65 2008 р. листопад 10,31/ ср 9,65 2007 р. грудень - 12,52/ ср 10,81 2008 р. грудень - 11,56/ ср 10,81 2009 р. грудень - 11,67/ ср 10,81 2010 р. грудень - 12,06/ ср 10,81 <u>нижче сер. очікуваних:</u> 2010 р. серпень - 4,59/ср 5,36 2013 р. серпень - 4,65/ср 5,36	2007 р. - 05 міс. 2008 р. - 05 міс. 2010 р. - 05 міс. 2011 р. - 05 міс. 2012 р. - 05 міс. 2013 р. - 05 міс. 2012 р. - 06 міс. 2007 р. - 09 міс. 2008 р. - 09 міс. 2012 р. - 09 міс. 2007 р. - 11 міс. 2009 р. - 12 міс.

Д.2 Обговорення результатів статистичної обробки даних кількісного аналізу показників якості поверхневих вод річки Сіверський Донець

(район басейну річки Дон, номер масиву, код типу масиву UA_R_16_XL_1_SI, номер масиву UA_M6.5.1_0007, розташування по висоті - низовинне, геологія - силікатні, точка забору 444 км) [5].

За допомогою виконаної обробки даних якості поверхневих вод річки Сіверський Донець (444 км) за методами описової статистики можна зробити якісні висновки про відповідні фактори впливу та подекуди різку зміну або великий розкид значень показників забруднюючих речовин. За результатами статистичного дослідження двадцяти показників виявлено наступні фактори впливу:

- фактор сезонних (температурних і інш.) коливань;
- фактор збільшення/скорочення антропогенного впливу;
- фактор випадкового впливу, спричинений збільшенням похибки визначення показника.

Д.2.1 Фактор сезонних (температурних і інш.) коливань

а) температура повітря: спекотніше було влітку в 2010 році - липень (33,5 °С) і серпень (33,6 °С), а найпрохолодніше в 2013 році - липень (21,8 °С) і серпень (23,3 °С). І відповідно раніше прийшла зима за температурними показниками в 2012 році (грудень - (-4,9) °С та 2016 році - (3,9) °С), й відповідно найхолоднішою вона була у 2012 році (лютий - (-11,4) °С), а більш теплою у 2016 році - лютий 4,2) °С.

б) температура води:

взимку - холодніше у січні 2016 р. і лютому 2011 р. грудні 2010, 2011, 2012, 2014 р.; а тепліше у січні 2007 р., лютому 2016 р. і грудні 2009

повесні - холодніший у березні 2010 р., квітні 2016, 2011 і 2013 р., травні 2013, 2016 р., а тепліше у березні 2008, 2014, 2016 р, квітні 2008, 2010 р., травні 2012 р.

влітку - холодніше у червені 2008, 2013 р., липні 2013, 2014 р., серпні 2015 р., а найтепліше у червні 2012 р., липні 2009, серпні 2010, 2013 р.

восени - холодніше у вересні 2011, 2012, 2013 р., жовтні 2011, 2014, 2015, р., листопаді 2011 р., а тепліше у - вересні 2009, 2010, 2014 р., жовтні 2009, 2010 р., листопаді 2009, 2010, 2013 р.

Тобто холодна зима раніше настала у 2010, 2011, 2014 р., рання весна - у 2008, 2012 р., а пізня весна у 2013, 2016 р., спекотне літо - у 2008, 2009, 2010 р. 2012, холодне літо - у 2013, 2014 р., тепла календарна осінь прийшла у 2008, 2009, 2010 р. та холодна майже вдвічі (з різкою зміною) з 2011, 2014-2017 р.

Відповідність сумісного впливу температури повітря та температури води за одночасним збільшенням стандартного відхилення показників і відповідно наявним фактором, що спричинив розкид сукупностей даних температур двох середовищ в одній точці/площі виміру прослідковується лише в один період, а саме січні 2014 р.;

в) мають чітко виражену сезонність такі показники якості води: азот амонійний, нітрати, нітроти, феноли, фосфати, рН, розчинний кисень;

г) сезонність не спостерігається у таких показників якості води: поверхнево- активні речовини (аПАР), сульфати, хлориди, хімічне споживання кисню (ХСК), сухий залишок, біологічне споживання кисню (БСК_{5/п}), завислі речовини, жорсткість (сума іонів магнію та кальцію), прозорість, кольоровість;

д) дані виміру однорідні, мають щільну сукупність у таких показників якості води: азот амонійний, нітроти, а ПАВ, сульфати, хімічне споживання кисню (ХСК), фосфати, біологічне споживання кисню (БСК_{5/п}), завислі речовини, жорсткість (сума іонів магнію та кальцію);

е) спостерігається великий розмах сукупності даних/ аномалії у таких показників якості води: нітрати, феноли, хлориди, сухий залишок, рН, прозорість, кольоровість, розчинний кисень;

ж) періоди граничних меж показників:

- максимальних показників (вище середньо очікуваних) - 2007, 2008, 2010, 2012, 2013 рр.

- мінімальних показників (нижче середньо очікуваних) - 2008, 2010, 2013, 2015 рр.

- різких/аномальних змін показників по роках - 2007, 2008, 2014, 2015 рр.

- великого розкиду даних по роках - 2007 р. (01, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12 місяці),
 2008 р. (03, 04, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10 місяці),
 2009 р. (01, 02, 02, 03, 06, 07, 11, 12),
 2010 р. (02, 03, 04, 04, 04, 05, 05 місяці),
 2011 р. (01, 02, 03, 04, 07, 05, 05, 09, 10 місяці),
 2012 р. (01, 02, 04, 03, 05, 04, 06, 08, 09, 11, 12-місяці)
 2013 р. (01, 02, 03, 04, 05, 12 місяці),
 2014 р. (01, 02, 03, 11 місяці),
 2015 р. (03, 04, 05, 06, 09 місяці),
 2016 р. (01, 04, 08, 09, 10, 10 місяці),
 2017 р. (04 місяць)

Умовні позначки:

красний колір - температура води; перекреслення - температура повітря; жовтий колір - одночасне збільшення розкиду значень різних показників; зелений колір - відповідність сукупності мінералізації/сухого залишку, завислих речовин, хлоридів у воді; сірий колір - рН; фіолетовий колір - показник розчинного кисню; жирний шрифт - багаторазові повторення періоду;

Отримані відповідності одночасного настання великого розкиду даних між:

1) показниками: прозорість та хлориди, рН, сухий залишок, завислі речовини;

2) показниками: водневим показником рН та фосфатами в більшості випадків;

3) цікавий повторювальний період настання великого розкиду даних вимірів рН за однаковими сезонами/місяцями, а саме:

взимку - лютий (2009,2010) рр., навесні - березень (2015), квітень (2011,2015,2016), травень (2007) і це періоди теплішого сезону

влітку - червень (2012), липень (2007,2009), так само спекотніше літо за інші періоди

восени - листопад (2009,2014), водночас холодніший період.

Таке порівняння з місяцями пікових температур все ж таки не дають чіткого підтвердження загального впливу сезону на більшість показників якості води і потребують додаткових перевірок цієї гіпотези.

4) ймовірні періоди кореляції даних вимірів рН та:

- фосфатів відстежується в періоди спекотного літа 2007 р.;

- з ХСК у лютому 2009 р.

- нітриту у лютому 2009р.

- нітрати у лютому 2009 р.

- залізо у квітні 2011 р.

- завислі речовини - лютий 2009 р.

5) ймовірні періоди кореляції даних вимірів **розчинного кисню** спостерігаються на:

- хлориди в травні 2010 р.;
- феноли у березні - травні 2013 р.;
- сульфати у листопаді 2007 р., вересні 2009 р.;
- ХСК у червні 2012 р., березні 2013 р. (з одночасною зміною і показника кольоровості),
- нітрати у грудні 2009 р., листопаді 2007 р., січні 2013 р.
- заліза у січні 2012 р. (з одночасним впливом температури повітря і параметра прозорості води), квітні 2011 р. (зі зміною рН та показника прозорості)
- сухий залишок (мінералізації) у квітень 2010 р. (з одночасною зміною і показника прозорості)
- завислих речовин у квітні 2008 р. (з одночасною зміною і показника прозорості і кольоровості)
- рН у квітні 2011 р., травні 2007 р. (з одночасною зміною і показника прозорості і кольоровості), червні 2012 р.
- жорсткість (сума іонів магнію та кальцію) у січні 2013 р.

б) ймовірні періоди кореляції даних вимірів **сухого залишку (мінералізації)** спостерігаються на:

- азот амонійний у квітні 2010 р. (з впливом зміни температури води і прозорості)
- нітрати у лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН), березні-квітні 2010 р. (з впливом зміни температури води і прозорості), червень 2007 р.
- нітрити у лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН)
- хлориди у березні і травні 2010 р.
- ХСК у лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН)
- завислі речовини у червні 2007 р., лютому 2009 р. (з впливом зміни температури повітря і зміною рН)
- розчинний кисень у квітень 2010 р. (з одночасною зміною і показника прозорості)
- показника рН у лютому 2009 р., лютому 2010 р., квітень 2010 р., серпень 2007 р.
- з впливом зміни температури води у жовтні 2016 р.

З отриманих результатів обробки масиву даних якісного аналізу поверхневих вод прослідковується багатомірний взаємозв'язок і ймовірно вплив показників: розчинного кисню у воді, показника рН та мінералізації (сухого залишку) на більшість інших показників контролю (з досліджуваних двадцяти). Таким чином підтверджується доцільність використання показника рН, розчинного кисню та мінералізації як маркерних показників які в комплексі динамічно реагують на зміни хімічного стану водного середовища.

Д.2.2 Фактор збільшення/скорочення антропогенного впливу

Основні показники використання водних ресурсів (огляд з 2007 р.): (max - 2007 р., далі невеликий спад у 2009 р., але у 2012-2013 р. повернення до попередніх обсягів, з різким зменшенням у 2014 р. й досягненням min - 2015 р., і далі у 2016 р.-2017 р. ситуація суттєво не змінювалась від показників 2015 року). За даними Державного комітету статистики України с посиланнями на Національну водну агенцію та Міністерство регіонального розвитку України з 2014-2015 року наявно зменшені показники використання спожитих свіжих, забраних вод та відведено зворотних вод у р. Сів. Донець, що відповідає даним соціально-економічного аналізу Луганської області, а саме спаду показників виробництва/реалізації у впливаючих галузях

- промисловості та сільського господарства регіону [1-4];

Економічна складова (огляд з 2010 р.): промисловість регіональних підприємств (max - 2011-2013 р., у 2014 р. - різкий спад обсягів, майже вдвічі й досягнення min - 2015 р., з 2016 р. - слабке відродження до рівня 50% від показників 2013 року);

- сільське господарство регіону (min - 2013-2014 р. і з 2015 року до 2016 р. поступове зростання обсягів майже вдвічі від показників початкового періоду).

Проте, як визначається у доповіді Луганської обласної адміністрації (ЛОДА) [1, 2], до 2014 року Луганська область: «...входила до п'ятірки найбільш потужних промислово-економічних регіонів України. Формування і розвиток області знаходився в тісному взаємозв'язку з розвитком вугільної, хімічної промисловості, металургії. Після 2014 року посилилась роль районів північної частини області - як зони сільськогосподарського виробництва. Внаслідок збройної агресії Російської Федерації в області зросла кількість факторів, які перешкоджають збалансованому регіональному розвитку області, особливо в сферах: промислового виробництва, транспортних перевезень, енергозабезпечення» [1]. Основні показники використання та охорони водних ресурсів представлені у доповіді надано на рис. Д.1[3]



Рисунок Д.1 - Основні показники використання та охорони водних ресурсів [3]

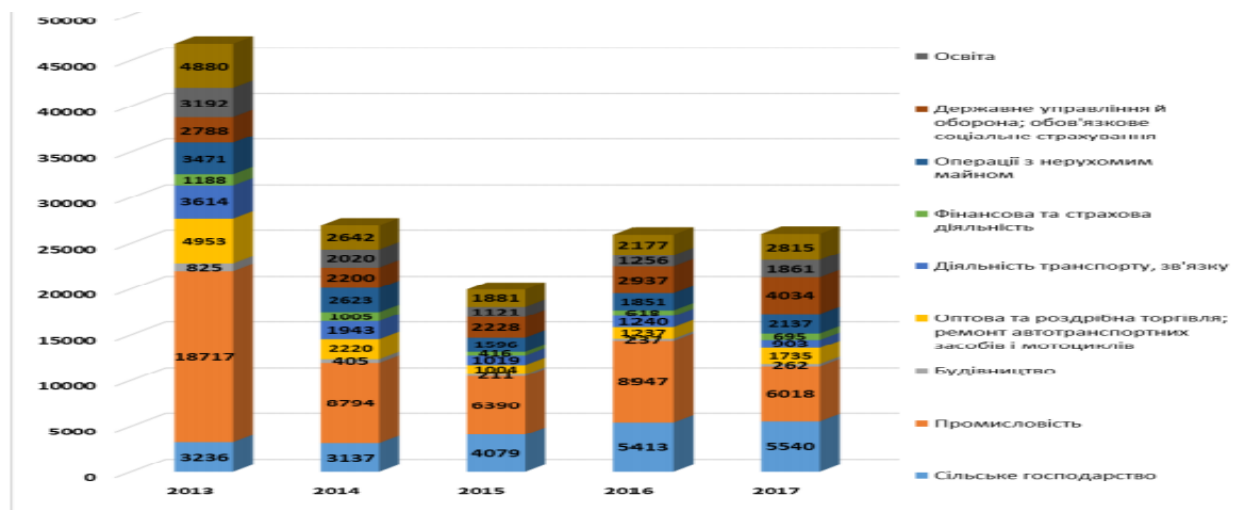


Рис.29. Валова додана вартість в розрізі видів економічної діяльності, млн грн.

Рисунок Д.2 - Валова додана вартість в розрізі видів економічної діяльності [1]



Рисунок Д.3 - Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) підприємств з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства по регіону Луганської області у 2010-2018 роках [4]

Отримана кореляція даних основних показників використання/скиду водних ресурсів та показників розвитку промисловості досліджуваного регіону свідчить про те, що у 2014 р. прийшов різкий спад виробництва, у зв'язку зазначених вище обставин ворожої агресії, в результаті чого в цей рік були суттєво скорочені обсяги водозабору річкових вод на технологічні цикли та скорочені обсяги зворотнього скиду умовно-очищених вод (забруднених) до річкового басейну. Що як наслідок призвело до різкого зменшення кількості забруднюючих речовин в воді, та підтверджується чіткою кореляцією таких змін в період 2014-2016 років (рис.Д.1-Д.3) і відповідно констатованим зменшенням антропогенного навантаження на річковий басейн.

Д.3 Фактор випадкового впливу, спричинений збільшенням похибки визначення показника

Щодо фактору випадкового впливу, спричиненим збільшенням похибки визначення показника в цьому дослідженні вважається зміна затвердженого методу визначення показника в період з 2007-2009 року до 2009-2017 року та зміни похибки вимірювання для відповідних діапазонів, а саме для показників:

- кольоровості, град з $\delta = \pm 50-10$ % до $\delta = \pm(22-5)$ %;
- магній та кальцій сумарно, мМоль/дм³ (жорсткість загальна) з $\Delta = \pm 0,04$ мМоль/дм³ до $\delta = \pm 14$ %
- сухого залишку, мг/дм³ з $\Delta = \pm(5-50)$ до $\delta = \pm 5$ %
- аміаку та іонів амонію, мг/дм³ з $\Delta = \pm 0,011-0,256$ до $\delta = \pm(20-9)$ %
- нітратів, мг/дм³ з $\delta = \pm 48-25$ % до $\delta = \pm(25-16)$ %
- сульфатів, мг/дм³ з $\delta = \pm 20-15$ % до $\delta = \pm 9$ %
- хлоридів, мг/дм³ з $\delta = \pm 10$ % до $\Delta = \pm(1,49-1,79)$ і $\delta = \pm 10$ %
- заліза загального, мг/дм³ з $\delta = \pm(20-10)$ % до $\Delta = \pm(0,018-0,14\sqrt{r})$, де r -ступень розведення
- хімічне споживання кисню (ХСК), мгО₂/дм³ з $\delta = \pm 7-14$ % до $\Delta = \pm(0,7-800)$ та $\delta = \pm(65-14)$ %
- фенолу, мг/дм³ з $\delta = \pm 50-10$ % до $\delta = \pm(35-10)$ %

Перелік джерел посилань до додатку Д

1. Соціально-економічний аналіз Луганської області. Аналітично-описова частина до стратегії розвитку Луганської області (попередня версія). м. Сєверодонецьк, 2019 р. -300 с. Режим доступу: http://loga.gov.ua/sites/default/files/collections/profil_lugansk_17_10_2019-2-opracovane_22.10.2019.pdf
2. Аналітична частина проекту Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2027 року. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/05/analitika.pdf>
3. Основні показники використання та охорони водних ресурсів (за даними Державного агентства водних ресурсів України). Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/ns_rik/ns_u/opvvr_u2005.html
4. Багатогалузева статистична інформація / Регіональна статистика / Економічна статистика / Економічна діяльність / Діяльність підприємств / Розвиток підприємництва / Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) підприємств з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства по регіонах (2010-2018). Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/fin/roz_p.htm
5. Державний водний кадастр: Облік поверхневих водних об'єктів. Режим доступу: <http://geoportal.davr.gov.ua:81/#swbRiskXSidebar>